

## CONTENT

|   |   |     |
|---|---|-----|
| CESARE SPOSITO<br>(EDITORIAL)   | <i>Strategie ecosistemiche e infrastrutture verdi in simbiosi con il costruito</i><br>Ecosystem strategies and green infrastructures in symbiosis with the built form   | 3   |
| MANUEL GAUSA  | <i>Topologie verdi e paesaggi oltre il paesaggio. 30 anni di ricerche avanzate sulla ibridizzazione del verde</i><br>Green topologies and landscapes beyond the land. A 30-years research on green hybridization  | 14  |
| FRANCESCA SCALISI, DAVID NESS   | <i>Simbiosi tra vegetazione e costruito. Un approccio olistico, sistemico e multilivello</i><br>Symbiosis of greenery with built form. A holistic, systems, multi-level approach  | 26  |
| FRANCESCA OLIVIERI  | <i>Progettazione simbiotica per un ecosistema urbano resiliente</i><br>Symbiotic design for a resilient urban ecosystem   | 40  |
| SILVIA BARBERO, CAROLINA GIRALDO NOHRA<br>CRISTIAN CAMPAGNARO                         | <i>Soluzioni sistemiche per un benessere olistico delle città. Processi, risultati e riflessioni</i><br>Systemic solutions for the holistic well-being of cities. Processes, results and reflections  | 50  |
| EMANUELA COPPOLA, LEONARDO ZAFFI<br>MICHELE D'OSTUNI                                  | <i>Dalle Superillas al tactical greenery. Sperimentazioni e strategie transcalari di rigenerazione vegetale dello spazio urbano</i><br>From Superillas to tactical greenery. Experiments and transcalar strategies of vegetal regeneration of urban space | 62  |
| KEVIN SANTUS, ISABELLA SPAGNOLO<br>DANIELE ROCCARO, MAICOL NEGRELLO                   | <i>Progettare l'adattamento. Resilienze di agricoltura urbana nel contesto europeo</i><br>The Resilience of urban agriculture in the European context   | 74  |
| BEATRICE BALDUCCI, FRANCESCO CAMILLI  | <i>Progettare l'ecologia. Il vegetale come paradigma possibile di un'architettura sostenibile e resiliente</i><br>Designing ecology. The organic as a possible paradigm of a sustainable and resilient architecture                                       | 84  |
| SIMONA TALENTI, ANNARITA TEODOSIO   | <i>Grattacieli e vegetazione. Una simbiosi inedita</i><br>Skyscrapers and greenery. An unprecedented symbiosis  | 94  |
| ANTONELLA FALZETTI, INA MACAIONE<br>VERA AUTILIO                                      | <i>Ordine, complessità, misura. Il progetto tra architettura e natura</i><br>Order, complexity, measure. The project between architecture and nature  | 104 |
| ALBERTO BOLOGNA, ADRIANA GHERSI<br>STEFANO MELLI                                      | <i>Lecture integrate per il verde pensile urbano. Codici espressivi e forme di natura</i><br>Integrated readings for the urban green roof. Expressive codes and forms of nature   | 114 |
| OSCAR E. BELLINI, GIUSEPPE RUSCICA<br>VITTORIO PARIS                                  | <i>Verso una nuova ecologia dell'abitare condiviso. Verde tecnologico e Internet of Nature</i><br>Towards a new ecology of shared living. Technological greenery and the Internet of Nature   | 124 |
| DANIEL IBÁÑEZ, VICENTE GUALLART<br>MICHAEL SALKA                                      | <i>La prototipizzazione pedagogica di edifici ecologici avanzati e biocittà presso il Valldaura Labs</i><br>On pedagogical prototyping of advanced ecological buildings and biocities at Valldaura Labs   | 136 |
| EMANUELE SOMMARIVA, NICOLA V. CANESSA<br>GIORGIA TUCCI                                | <i>Azioni verdi per città innovative. Il nuovo paesaggio agroalimentare</i><br>Green actions for innovative cities. The new agri-food landscape   | 150 |
| VALERIA D'AMBROSIO, FERDINANDO DI MARTINO<br>MARINA RIGILLO                           | <i>Tecnologie geocomputazionali digitali per il metaprogetto di infrastrutture verdi urbane</i><br>Digital geocomputational technologies for the metaproject of urban green infrastructures   | 162 |
| ROBERTA COCCI GRIFONI, TIMOTHY D. BROWNLEE<br>GRAZIANO E. MARCHESANI, MARIA F. OTTONE | <i>La micro-forestazione urbana per l'adattamento climatico nei porti minori del medio Adriatico</i><br>Urban micro-forestry for climate adaptation in the smaller ports of the mid-Adriatic sea  | 172 |
| CAROLA CLEMENTE, MASSIMO PALME, ANNA MANGIARDI<br>DANIELE LA ROSA, RICCARDO PRIVITERA | <i>Il verde urbano nella riduzione dei carichi di raffrescamento. Simulazioni nel clima Mediterraneo</i><br>Urban green areas in the reduction of cooling loads. Simulations in the Mediterranean climate   | 182 |
| RENATA VALENTE, ROBERTO BOSCO<br>SAVINO GIACOBBE, SALVATORE LOSCO                     | <i>Il progetto di infrastrutture verdi per le acque piovane. Note di metodo da un caso studio</i><br>Green stormwater infrastructures research through design. Method notes from a case study   | 192 |
| FABRIZIO TUCCI, MARCO GIAMPAOLETTI  | <i>Soluzioni green per la sottrazione e lo stoccaggio di carbonio nei distretti urbani</i><br>Green solutions for removing and storing carbon in urban districts  | 202 |
| MAURIZIO M. BOCCONCINO, MARIAPAOLA VOZZOLA  | <i>Repertori aperti per istruire sistemi urbani ecologici. Strumenti grafici e transizione verde</i><br>Open repertoires for instructing ecological urban systems. Graphic tools and green transition   | 214 |
| JULIA NERANTZIA TZORTZI, MARIA STELLA LUX   | <i>Rinverdire i centri storici. Il ruolo dello spazio pubblico nell'infrastruttura verde di Milano</i><br>Renaturing historical centres. The role of private space in Milan's green infrastructures   | 226 |
| MARIA CANEPA, FRANCESCA MOSCA<br>ENRICA ROCCOTIELLO, ALEXANDRE CHANGENET ET ALII      | <i>Ecologies, oltre l'inverdimento. Un approccio multi-specie per lo spazio urbano</i><br>Ecologies, beyond greening. A multi-species approach for urban design   | 238 |
| CHIARA CATALANO, ANDREA BALDUCCI  | <i>Analisi ambientale e progettazione ecosistemica. Sondaggi, criticità e soluzioni applicative</i><br>Environmental analysis and ecosystemic design. Survey, critical issues and application solutions   | 246 |
| BRENDA CHAVES COELHO LEITE, LUCAS GOBATTI<br>ISABELA GAMBÁ HUTTENLOCHER               | <i>Tetti verdi subtropicali a bassa manutenzione. Verde spontaneo e profondità del substrato</i><br>Low-maintenance subtropical green roofs. Spontaneous vegetation and substrate depth   | 258 |
| LUCAS BÜSCHER, ROMAN POLSTER<br>HEIKE KLUSSMANN                                       | <i>Botanical concrete. Sperimentazione su substrati di calcestruzzo per l'inverdimento verticale</i><br>Botanical concrete. Experimentation on concrete substrates for vertical greening  | 266 |
| FEDERICA DAL FALCO, ROSANNA VENEZIANO<br>MICHELA CARLOMAGNO                           | <i>Collaborazione tra natura e artificio. Processi simbiotici tra scienze, arti e design</i><br>Natural and artificial interaction. Symbiotic processes between science, art and design   | 274 |
| MARINELLA FERRARA, ALESSANDRO SQUATRITO   | <i>L'innovazione design-driven dei materiali circolari a base biologica. Strategie e competenze per la progettazione</i><br>Design-driven innovation of bio-based circular materials. Design strategies and skills  | 288 |

11

International Journal of Architecture Art and Design

11 | 2022

VEGETAZIONE – LA SUA SIMBIOSI CON IL COSTRUITO | GREENERY – ITS SYMBIOSIS WITH THE BUILT ENVIRONMENT

VEGETAZIONE  
LA SUA SIMBIOSI  
CON IL COSTRUITO

GREENERY  
ITS SYMBIOSIS WITH  
THE BUILT ENVIRONMENT

11  
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), **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), **ALICIA CASTILLO MENA** (Complutense University of Madrid, Spain), **JORGE CRUZ PINTO** (University of Lisbon, Portugal), **MARIA ANTONIETTA ESPOSITO** (University of Firenze, Italy), **EMILIO FAROLDI** (Polytechnic University of Milano, Italy), **GIOVANNI FATTA** (University of Palermo, Italy), **FRANCISCO JAVIER GALLEGO ROCA** (University of Granada, Spain), **PIERFRANCO GALLIANI** (Polytechnic University of Milano, Italy), **JAVIER GARCÍA-GUTIÉRREZ MOSTEIRO** (Polytechnic University of Madrid, Spain), **MOTOMI KAWAKAMI** (Tama Art University, Japan), **WALTER KLASZ** (University of Art and Design Linz, Austria), **INHEE 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), **OLIMPIA NIGLIO** (Hokkaido University, Japan), **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), **DOMINIQUE ROUILLARD** (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)

Editor-in-Chief

**FRANCESCA SCALISI** (DEMETRA Ce.Ri.Med., Italy)

Editorial Board

**MARIO BISSON** (Polytechnic University of Milano, Italy), **TIZIANA CAMPISI** (University of Palermo, Italy), **CLICE DE TOLEDO SANJAR MAZZILLI** (University of São Paulo, Brazil), **GIUSEPPE DI BENEDETTO** (University of Palermo, Italy), **ANA ESTEBAN-MALUENDA** (Polytechnic University of Madrid, Spain), **RAFFAELLA FAGNONI** (IUAV, Italy), **ANTONELLA FALZETTI** ('Tor Vergata' University of Roma, Italy), **RUBÉN GARCÍA RUBIO** (Tulane University, USA), **MANUEL GAUSA** (University of Genova, Italy), **PILAR CRISTINA IZQUIERDO GRACIA** (Polytechnic University of Madrid, Spain), **PEDRO ANTÓNIO JANEIRO** (University of Lisbon, Portugal), **MASSIMO LAURIA** (Mediterranea University of Reggio Calabria, Italy), **INA MACAIONE** (University of Basilicata, Italy), **FRANCESCO MAGGIO** (University of Palermo, Italy), **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), **MONICA ROSSI-SCHWARZENBECK** (Leipzig University of Applied Sciences, Germany), **DARIO RUSSO** (University of Palermo, Italy), **MARCO SOSA** (Zayed University, United Arab Emirates), **ZEILA TESORIERE** (University of Palermo, Italy), **ANTONELLA TROMBADORE** (World Renewable Energy Network, UK), **ANTONELLA VIOLANO** ('Luigi Vanvitelli' University of Campania, Italy), **GASPARE MASSIMO VENTIMIGLIA** (University of Palermo, Italy), **ALESSANDRA ZANELLI** (Polytechnic University of Milano, Italy)

Assistant Editor

**SANTINA DI SALVO** (DEMETRA Ce.Ri.Med.)

Graphic Designer

**MICHELE BOSCARINO**

Executive Graphic Designer

**ANTONELLA CHIAZZA, PAOLA LA SCALA**

Web Editor

**PIETRO ARTALE**

Il Journal è stampato con il contributo degli Autori che mantengono i diritti sull'opera originale senza restrizioni.

The Journal is published with fund of the Authors whom retain all rights to the original work without any restrictions.

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

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

AGATHÓN 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 January 2017.

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 Alloro n. 3 | 90133 Palermo (ITA) | E-mail: redazione@agathon.it

Promoter

DEMETRA Ce.Ri.Med.

Centro Documentazione e Ricerca Euro-Mediterranea | Euro-Mediterranean Documentation and Research Center

Publisher

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

Finito di stampare nel Giugno 2022 da

Printed in June 2022 by

FOTOGRAF s.r.l. | viale delle Alpi n. 59 | 90144 Palermo (ITA)

Per le attività svolte nel 2021 relative al double-blind peer review process, si ringraziano i seguenti Revisori:

As concern the double-blind peer review process done in 2021, we would thanks the following Referees:

EMANUELE WALTER ANGELICO (University of Palermo), LAURA ANSELMI (Polytechnic University of Milano), ERNESTO ANTONINI (University of Bologna), EUGENIO ARBIZZANI ('Sapienza' University of Roma), VENANZIO ARQUILLA (Polytechnic University of Milano), LAURA BALDUCCO ('Iuav' University of Venezia), GINEVRA BALLETO (University of Cagliari), ADOLFO BARATTA (University of Roma Tre), ANTONINO BENINCASA (University of Bolzano), STEFANO BRUSAPORCI (University of L'Aquila), RICCARDO BUTINI (University of Firenze), DANIELA CALABI (Polytechnic University of Milano), ELIANA CANGELLII ('Sapienza' University of Roma), MARIA RITA CANINA (Polytechnic University of Milano), RENATO CAPOZZI ('Federico II' University of Napoli), ANNA CATANIA (University of Palermo), GIOVANNI CONTI (Polytechnic University of Milano), VINCENZO CRISTALLO ('Sapienza' University of Roma), PIETRO MARIA DAVOLI (University of Ferrara), VALERIA D'AMBROSIO ('Federico II' University of Napoli), VERONICA DAL BUONO (University of Ferrara), ALBERTO DE CAPUA ('Mediterranea' University of Reggio Calabria), PAOLA DE JOANNA ('Federico II' University of Napoli), BARBARA DEL CURTO (Polytechnic University of Milano), GIUSEPPE FALLACARA (Polytechnic University of Bari), CINZIA FERRARA (University of Palermo), VITTORIO FIORE (University of Catania), MARIA LUISA GERMANÀ (University of Palermo), MATTEO LEVA (Polytechnic University of Bari), LORENZO IMBESI ('Sapienza' University of Roma), MATTEO INGARAMO (Polytechnic University of Milano), ANTONINO LABALESTRA (Polytechnic University of Bari), RENZO LECARDANE (University of Palermo), ROBERTO LIBERTI ('Luigi Vanvitelli' University of Campania), LUCIANA MACALUSO (University of Palermo), CARLO MARTINO ('Sapienza' University of Roma), MARTINO MILARDI ('Mediterranea' University of Reggio Calabria), LUIGI MOLLO ('Luigi Vanvitelli' University of Campania), MASSIMO MUSIO-SALE (University of Genova), ELENA MUSSINELLI (Polytechnic University of Milano), INGRID PAOLETTI (Polytechnic University of Milano), SILVIA PERICU (University of Genova), CLAUDIO PIFERI (University of Firenze), MATTEO POLI (Polytechnic University of Milano), RICCARDO POLLO (Polytechnic University of Torino), FABIO QUICI ('Sapienza' University of Roma), GIUSEPPE RIDOLFI (University of Firenze), MARCO SALA (University of Firenze), PAOLA SCALA ('Federico II' University of Napoli), DARIO SCODELLER (University of Ferrara), ANTONELLO MONSÙ SCOLARO (University of Sassari), PAOLO TAMBORRINI (Polytechnic University of Torino), ENZA TERSIGNI ('Federico II' University of Napoli), FRANCESCA THIEBAT (Polytechnic University of Torino), DAVIDE TURRINI (University of Ferrara), ALBERTO ULISSE ('Gabriele D'Annunzio' University of Chieti-Pescara), CALOGERO VINCI (University of Palermo), THEO ZAFFAGNINI (University of Ferrara), IVAN ZIGNEGO (University of Genova).

**Strategie ecosistemiche e infrastrutture verdi in simbiosi con il costruito**  
Ecosystem strategies and green infrastructures in symbiosis with the built environment

Il numero 11 di AGATHÓN raccoglie saggi, studi, ricerche e progetti sul tema Vegetazione | La sua Simbiosi con il Costruito richiamando il ruolo che la Natura in generale e la Vegetazione in particolare possono svolgere nel breve periodo per affrontare l'attuale sfida del surriscaldamento globale e dei cambiamenti climatici causati da deforestazioni e incendi boschivi, urbanizzazioni selvagge, uso indiscriminato di materie prime non rinnovabili e incremento delle emissioni di anidride carbonica, tutti fattori che determinano un impatto devastante sul nostro ormai fragile ecosistema, sulla società e sull'economia. Se Simon aveva intuito già nel 1969 il potenziale di una 'nuova ecologia' in cui componenti animati e inanimati dell'ambiente costruito concorrono a caratterizzare un paesaggio 'unificato', gli studi di Beynus (2002) costituiscono un patrimonio di conoscenze utile alla rigenerazione consapevole e responsabile dell'ambiente costruito: nel corso dei millenni la Natura ha infatti perfezionato strategie e soluzioni, processi e meccanismi per adattarsi alle diverse condizioni climatiche e fisiche attraverso la razionalizzazione dell'utilizzo di materia e di energia ottimizzando gli scambi metabolici di tipo materiale e immateriale.

Mentre il Movimento Moderno ha considerato paesaggio, urbanistica, architettura e design come discipline separate, nel nuovo millennio si rileva uno 'spostamento scalare' in cui esse sono assunte come parti di un sistema territoriale unificato nel quale si è chiamati a superare l'antropocentrismo e a progettare per l'uomo e per le altre forme viventi, in un rapporto di profonda conoscenza e comprensione delle traiettorie e dei bisogni reciproci degli esseri umani e non umani (Tesoriere, 2020). La relazione tra le parti del sistema assume un'importanza nevralgica quando adottiamo una visione più ampia e sistemica, supportata da un approccio olistico e partecipativo (Otto, 2008); le tecnologie digitali possono supportare questa 'doppia convergenza' verso una 'ecologia cibernetica', consentendoci di vedere il mondo naturale e quello artificiale come un unicum (Ratti and Belleri, 2020).

I nuovi metabolismi urbani, soprattutto quelli delle grandi città che le Nazioni Unite definiscono 'centrali della crescita economica' (UN, 2022), sono individuati dalla letteratura scientifica come una delle principali cause del cambiamento climatico e dell'emergenza ambientale e al tempo stesso il luogo principe in cui impiegare soluzioni basate sulla natura, come se queste ultime da sole siano in grado di generare città più sane e più vivibili e risolvere la condizione di emergenza che investe il nostro Pianeta. È opinione consolidata (Pao and Chen, 2019) che la soluzione al problema ambientale è rappresentata da un nuovo paradigma fondato sul disaccoppiamento di crescita economica, impatto ambientale e consumo delle risorse, secondo un nuovo modello economico circolare capace di garantire uno stesso livello di produttività economica con una sensibile riduzione dello sfruttamento delle risorse primarie non rinnovabili. Nell'attesa, una delle soluzioni più promettenti è offerta da una nuova visione eco-sistemica capace di integrare natura e città, eco-struttura e infra-struttura, tecnologia, topografia e topologia, 're-naturalizzando' le preesistenze, il connettivo, gli spazi di risulta, i vuoti urbani e le aree di margine attraverso nuovi repertori spaziali e architettonici ibridi, tessuti urbani, maglie e geometrie più permeabili, flessibili, fluidi e organici legati alle dinamiche proprie di un ambiente in continua mutazione e alle sue manifestazioni multi-scalari (Gausa, 2022) attraverso una vegetazione declinata in tutte le sue differenti sfumature, valenze o gradienti forestali, arbustivi, agricoli ma anche vegetali e minerali, con un approccio olistico, multiscale e trasversale. In questo modo si potrà favorire il passaggio da un'ecologia difensiva a un'ecologia proattiva e tecnoperformativa, come nel caso del Deep Green di Guatemala City con il quale ecoLogicStudio sviluppa un Masterplan ecologico che, in un'ottica di metabolismo urbano integrato e simbiotico e attraverso intelligenza artificiale e algoritmi, consente di definire scenari e strategie per potenziare le infrastrutture biologiche, metabolizzare l'inquinamento atmosferico, gestire rifiuti, sistema idrico e carbon trading e produrre energia rinnovabile (Scalisi and Ness, 2022), tutti servizi ecosistemici capaci di produrre vantaggi e servizi per l'uomo e l'ecosistema.

In Europa nell'ultimo ventennio la vegetazione è divenuta un elemento essenziale della pianificazione a scala metropolitana e comunale – come dimostrato dai noti All London Green Grid (Greater London Authority, 2012) e Pla Director di Barcellona del 2019 (Àrea Metropolitana de Barcelona, 2020) e dai Piani di Valencia, Madrid, Amsterdam e Parigi – con azioni che prevedono la valorizzazione di foreste urbane e grandi parchi periferici da collegare con le aree centrali attraverso un sistema di corridoi verdi con mobilità sostenibile e vegetazione folta e stratificata, caratterizzata da specie diverse piantumate su lingue verdi permeabili e attrezzate come zone di sosta, ristoro e socializzazione; su questo sistema arterioso principale solitamente se ne innesta uno secondario con aree verdi macro-medie-piccole-micro le cui funzioni sono prevalentemente ricreative (pocket-park, aree attrezzate, ecc.) o ecologiche (orti urbani e comunitari, aree di forestazione, ecc.). Parallelamente, da un lato si promuovono iniziative di urbanistica tattica che mirano a superare il limite di disponibilità economica dell'intervento pubblico attraverso contesti di sperimentazione partecipata (quali i Living Labs di Torino) con soluzioni co-progettate e adattate alle esigenze della città e dei suoi cittadini (Barbero, Giraldo Nohra and Campagnaro, 2022) o come nel caso della Municipalità di Parigi e de Le Permis de Végétaliser (Ville de Paris, 2021), uno strumento che dal 2015 consente ai cittadini, previa autorizzazione e ricezione di un toolkit iniziale, di rimuovere la pavimentazione per fare giardinaggio o posizionare fioriere su aree pubbliche e comuni, dall'altro prendono campo studi sui centri storici, come quello di Milano, nei quali i limiti imposti da densità, vincoli di tutela e complessità morfologiche spostano le azioni di inverdimento dalle aree pubbliche agli spazi privati e in particolare a corti, cortili e facciate cieche.

Negli ultimi anni si sono consolidate le discipline dell'Urban Health e dell'Healthy Urban Planning che mettono in relazione la salute delle popolazioni con gli ambienti urbani in cui vivono (Moscatò and Poscia, 2015) e hanno visto la luce anche importanti manifesti culturali: 'the self-sufficient city' (Guallart, 2014) che promuove tecnologie localizzate per la produzione di energia da fonti rinnovabili e da rifiuti, la gestione e il riciclo dell'acqua piovana, la trasformazione delle materie prime in oggetti utili e la coltivazione di cibo tramite serre sulle coperture piane. Il tutto gestito collettivamente dall'IoT attraverso sensori, attivatori, sistemi informatici e interfacce user-friendly all'interno di una rete con omologhi di prossimità per dar vita a una infrastruttura urbana resiliente, interconnessa, multilivello e flessibile; il Manifesto per una Pianificazione Ecosistemica di Città e Metropoli di Salvador Rueda (Rueda-Palenzuela, 2019), proposto per il nuovo Piano della Mobilità Urbana di Barcellona, con i suoi 'super blocchi' o 'macro-isolati' (Superilles) che limitano al loro perimetro la maggior parte del traffico veicolare privato e pubblico e garantiscono all'interno una viabilità sostenibile, aree di sosta per i pedoni, piazze e consistenti aree a verde (incrementate del 91%) in cui valorizzare la biodiversità; la 'ville du quart d'heure' di Carlos Moreno (2020) che rielabora il concetto di prossimità per il quartiere nel quale devono essere garantite sei funzioni indispensabili (vivere, lavorare, fornire, prendersi cura, apprendere e divertirsi); infine il 'wood urbanism' (Ibañez, Hutton and Moe, 2019) per il quale il legno ingegnerizzato, con le sue proprietà fisiche e meccaniche, le caratteristiche affini ai principi della bioeconomia circolare e le potenzialità per sequestrare il carbonio è assunto come materiale primario per gli edifici e le città del futuro.

Le aree verdi urbane costituiscono un importante strumento per mettere in pratica i principi di 'resilience management' della città contemporanea e quindi per contrastare gli effetti del cambiamento che agiscono in combinato con i fattori di vulnerabilità specifici del territorio e determinano impatti e rischi per persone e cose, attività economiche ed ecosistemi, strutture e trasporti; tuttavia la capacità di fornire benefici di tipo 'ambientale' è funzione sia del loro potenziale ecologico sia del loro corretto inserimento all'interno di una rete infrastrutturale verde più ampia. Questo è il focus delle ricerche pubblicate sul volume, alcune delle quali si indirizzano verso il metaprogetto con la messa a punto di strumenti GIS capaci di strutturare modelli gerarchici utili a mappare l'efficienza ecologica delle aree verdi esistenti e a configurare gli elementi portanti di una potenziale rete di elementi naturali in relazione alla tipologia di servizi ecosistemici richiesti, per valutare ad esempio gli scenari di impatto all'ondata di calore nel medio e lungo termine sulla popolazione più fragile (D'Ambrosio, Di Martino and Rigillo, 2022). Altre ricerche indagano il potenziale di risparmio energetico e di riduzione dei consumi indoor nel clima Mediterraneo (Clemente et alii, 2022) per indirizzare pratiche sostenibili di rigenerazione urbana attraverso la messa a dimora di vegetazione negli spazi aperti disponibili intorno agli edifici con effetti ombreggianti in relazione alla tipologia e alle caratteristiche tecniche degli edifici, alla morfologia e densità dei tessuti urbani e degli spazi all'aperto e alle specie arboree inserite (valutandone gli aspetti dimensionali, di crescita, di manutenzione, la necessità di acqua e la permeabilità solare).

Altre ricerche ancora indagano sulla forestazione urbana e sulla capitalizzazione dello stock di risorse naturali con l'obiettivo primario di contribuire al dimezzamento delle emissioni di carbonio entro il 2030 e pervenire alla neutralità carbonica entro il 2050. È il caso di una ricerca (Tucci and Giampaoletti, 2022) che con l'introduzione di indici tassonomici specifici di stoccaggio del carbonio mette a fuoco strategie rilevanti nel campo delle soluzioni green per incrementare il benessere ambientale nei quartieri di edilizia residenziale pubblica della Città metropolitana di Roma Capitale, illustrando una proposta progettuale di riforestazione urbana integrata con quella complessiva di rigenerazione di quell'area della Capitale attraverso il potenziamento di specie autoctone e ad alta capacità di mitigazione ambientale, incremento delle aree umide e valorizzazione degli spazi aperti. Il volume mette poi in luce le potenzialità della micro-forestazione rispetto a interventi più strutturati come la forestazione, definibile una 'NbS agile' capace di agevolare i processi di transizione verso la sostenibilità urbana (Frantzeskaki and Rok, 2018) poiché più agevole da attuare grazie a tempi più rapidi, spazi più circoscritti, minore manutenzione e costi di esercizio ridotti. Tali interventi possono essere particolarmente indicati per la rigenerazione del sistema costiero che può avvalersi delle aree portuali per limitare gli effetti del calore urbano in regime estivo, reinserire le infrastrutture portuali all'interno del sistema urbano come aree attrattive per cittadini e turisti e aumentare comfort e sicurezza in aree urbane che nella stagione invernale sono trascurate e poco vissute. Tramite strumenti di simulazione si prevede l'implementazione di una piattaforma parametrica che, generando algoritmi proprietari, consente di avere un controllo ricorsivo su ogni aspetto del processo e di valutare gli effetti di azioni che prevedono, da un lato una sostanziale riduzione delle superfici impermeabili, dall'altro sistemi di inverdimento di tipo lineare (filari di essenze, siepi, pareti verdi, pergole, ecc.), di superficie (prato, tetti verdi, micro-aree boschive, orti, ecc.), puntuali (piccoli giardini, balconi verdi, green corner, ecc.) e con funzione di cuscinetto/filtro attraverso superfici verdi schermanti in grado di configurare spazi aperti in modalità 'protetta' per le attività temporanee stagionali.

In luogo della pianificazione urbanistica tradizionale che tende a frammentare gli ecosistemi si richiamano i valori aggiunti dell'Eco-Planning, disciplina che mira alla bio-integrazione di sottosistemi antropici e naturali per progettare quattro infrastrutture – quella verde della natura, quella blu dell'acqua, quella grigia ingegneristica e quella rossa dell'uomo (Yeang, 2009) – e del Water Sensitive Urban Design (Hoyer et alii, 2011), un approccio metodologico per integrare le interazioni tra il costruito e il ciclo idrico che restituisce soluzioni tecniche valide per drenare e gestire in modo sostenibile l'acqua piovana in città. In quest'ottica è da leggersi la sperimentazione sull'implementazione tra una rete di infrastrutture verdi per l'acqua piovana e una limitata porzione del reticolo idrografico in un tessuto urbano di un'area a nord di Napoli, il cui fine è mettere a punto un metodo di valuta-

zione dei benefici indotti e confrontare le performance degli interventi simulati (Valente et alii, 2022); nello specifico, la dinamica inter-scalare della sperimentazione ha consentito di individuare, attraverso l'analisi delle linee di deflusso delle acque, le aree in cui collocare le Green Stormwater Infrastructures (utili alla bio-integrazione/interazione tra le infrastrutture verdi e blu con interconnessioni anche con quelle rosse) per aumentare la permeabilità del suolo e la vegetazione, componente attiva di tali infrastrutture poiché svolge un'azione disinquinante, ma anche per migliorare la percezione sensoriale e il comfort degli utenti e favorire l'assorbimento degli inquinanti aerei.

Tra le infrastrutture verdi sono da annoverare i 'tetti verdi' che di certo non rappresentano una novità tra le soluzioni basate sulla natura che il panorama architettonico ci ha offerto nell'ultimo secolo. Tuttavia ad oggi non risultano sufficientemente indagate quelle coperture verdi che impiegano piante spontanee e ruderali, in aree climatiche subtropicali umide, capaci di fornire a basso costo e con ridotta manutenzione una vasta gamma di Servizi Ecosistemici, sopravvivere in contesti fortemente antropizzati e resistere a condizioni avverse con scarsità d'acqua e substrato poco profondo. Un contributo sul tema ce lo fornisce un gruppo di ricercatori dell'Università di San Paolo (Chaves Coelho Leite, Gobatti and Gamba Huttenlocher, 2022) i quali, attraverso una sperimentazione in banchi di prova, hanno caratterizzato con rigore scientifico i primi mesi di crescita della vegetazione spontanea e ruderale nei tetti fino al raggiungimento della copertura vegetale totale, fase ritenuta cruciale per comprendere appieno le dinamiche di colonizzazione e la sua resilienza ai fini di un successivo più ampio utilizzo. Attraverso l'analisi di dati quantitativi e qualitativi la ricerca, da un lato ha individuato il miglior compromesso tra colonizzazione delle specie analizzate, spessore del substrato e leggerezza della copertura, dall'altro ha messo in luce le valenze paesaggistiche ed estetiche di queste specie che concorrono a realizzare un ecosistema più resiliente e a consolidare le relazioni culturali e storiche tra la popolazione e la vegetazione urbana.

Tra i parametri di valutazione delle infrastrutture verdi e dei processi di rinaturalizzazione finalizzati a contrastare gli effetti del cambiamento climatico o a promuovere la resilienza e la biodiversità sono da tenere in considerazione anche servizi ecosistemici quali l'agricoltura urbana e gli orti comunitari poiché forniscono numerosi benefici socio-ecologici su base locale e promuovono l'accesso a fonti alimentari sane e a chilometro zero. Le esperienze maturate nell'ultimo ventennio dimostrano come il fenomeno di riappropriazione degli spazi 'tra città e campagna' sia un fenomeno in crescita soprattutto grazie agli under 35 che hanno dato vita a processi agroalimentari innovativi e a una transizione agricola della città tutt'altro che bucolica (Negrello et alii, 2022): superando la loro funzione primaria gli spazi agricoli assolvono a funzioni differenti (scenari produttivi innovativi, ospitalità agrituristica, infrastrutture verdi, corridoi ecologici, paesaggi del benessere e del tempo libero, ecc.) proiettandosi verso sistemi più integrati tra uomo, ambiente e tecnologia (tradizionale e avanzata) nelle diverse scale del progetto. È il caso dei progetti e delle sperimentazioni (BIO.tech HUT, Bio-Bombola, PhotoSynthetica Curtains e BioFactory, solo per citarne alcuni) di ecoLogicStudio che, attraverso il supporto della microbiologia e della biotecnologia, impiegano specie vegetali (ma anche animali), e in particolare le alghe, come infrastrutture naturali, interconnessioni biologiche, biosensori o metabolizzatori degli inquinanti urbani ed elementi nutrizionali dall'elevato apporto proteico (Scalisi and Ness, 2022).

In questo contesto 'iper-funzionale', oltre a promuovere forme di alimentazione più sane e sostenibili, l'agricoltura può determinare nuove opportunità economiche, sociali e qualitative per il nostro habitat urbano, creando catene di valore che migliorino la gestione delle risposte ambientali e rendano i contesti urbanizzati meno vulnerabili a dinamiche di trasformazione erosiva, agendo anche sui processi di rigenerazione urbana con temi fondanti della circolarità, quali il riuso e il riciclo che divengono strumenti multiscalari, rispetto all'approvvigionamento delle risorse, incrementando il riutilizzo delle acque meteoriche o il riuso di rifiuti organici urbani come fertilizzanti (Ferreira et alii, 2018); con gli scarti della produzione agricola possono prendere vita anche nuovi materiali (Ferrara and Squatrito, 2022), come testimoniato da una realtà emergente e produttivamente diversificata fatta di aziende dinamiche che hanno raggiunto stadi di sviluppo diversi anche rilevanti in termini di produzione, commercializzazione e distribuzione di materiali e prodotti circolari innovativi e a base biologica.

Diversi sono gli esempi degni di nota il cui comune denominatore è rintracciabile nella capacità aziendale di narrare i prodotti a partire dai materiali, nel legame con il territorio e le comunità locali e nella varietà del livello di artigianalità e industrializzazione: Miyuca, (Italia) progetta e produce artigianalmente oggetti con un nuovo materiale composito (LAAB), a base di foglie caduche e di una resina di origine naturale per la produzione di basi per tavoli e lampade; KeepLife (Italia) produce un materiale composito di natura lignea, plasmabile e auto-indurente, che utilizza gusci di frutta secca e lignina senza cariche o riempitivi, solventi o formaldeide, con differenti colorazioni utilizzando pigmenti derivati da terre locali; Ottan (Turchia) commercializza semilavorati in pannelli da 0,2 a 2 cm di spessore per rivestimenti di interni a partire da scarti alimentari, agricoli o da sfalci e potature con leganti di origine naturale; Mogu (Italia) produce e commercializza un pannello fonoassorbente composto da scarti della produzione agro-industriale, fibre di cotone e paglia, colonizzati dalle spore del micelio; Coffeefrom (Italia) è un materiale privo di bisfenolo composto da scarti di caffè locale impiegato nella produzione di oggetti come tazze, bicchieri e packaging certificati per il contatto con il cibo. In questa direzione si muove anche il progetto di cooperazione internazionale Creative Food Cycles (Sommariva, Canessa and Tucci, 2022) che realizza con gli scarti del caffè ceramiche e vasi compostabili, con quelli del latte recupera un'antica lavorazione per produrre finte madreperle e con altri materiali di scarto (lische di pesce, gusci delle uova, buccia di frutti e gusci della frutta secca) realizza bio-materiali complementari alla prototipazione di prodotti, sempre in un'ottica di replicabilità e riproducibilità domestica dei processi.

Superato il classico dualismo artificiale/naturale alla scala architettonica si prefigurano nuovi scenari progettuali capaci di incidere anche profondamente sul linguaggio e sull'espressività del costruito, da un lato con la rivalutazione di pratiche e tecniche indigene e vernacolari che riscoprono i materiali tradizionali, dall'altro sfruttando le potenzialità delle computer sciences, della bio-ingegneria, delle tecnologie digitali, del disegno parametrico e della stampa 3D. Si creano nuove mediazioni e forme di intelligenza mutate da una molteplicità di specie viventi per configurare soluzioni di bio-design e bio-architettura ma anche nuove opportunità di sostenibilità circolare, di biodiversità, salute, benessere e qualità della vita. Inizia a prendere corpo una progettualità ispirata alla natura, fondata su una dimensione concettuale tutt'altro che dogmatica a dimostrazione che è possibile superare la cattiva pratica del greenwashing e dar vita a una 'nuova ecologia' in cui uomo e natura concorrono a caratterizzare un inedito paesaggio 'unificato' in un rapporto di profonda conoscenza e comprensione reciproca per costruire un rapporto di simbiosi, integrazione e adattamento.

L'integrazione della componente vegetale nel progetto con il recupero di tecniche costruttive vernacolari ed ecologiche come quelle dei Khasis, degli Uros e dei Maasai (Balducci and Camilli, 2022), che integrano la dimensione organica e mutevole del materiale vegetale nello spazio costruito, o indigene come quelle valorizzate dallo studio canadese Brook McIlroy (Falzetti, Macaione and Autilio, 2022), che con il supporto degli architetti nativi indaga sulla natura disomogenea del legno per integrarla nel processo costruttivo e nel progetto – finalità perseguita anche dalle sperimentazioni avanzate dell'Institute for Computational Design and Construction e dall'Architectural Association – restituiscono una visione dell'artefatto che non è più 'inerte' ma diviene un nuovo tassello di una più ampia e complessa ecologia; con strumenti differenti ma stesso fine e capacità di minimizzare l'impatto ambientale del costruito, i casi citati dimostrano che l'integrazione della dimensione vegetale nel progetto di architettura non può ridursi a una mera questione tecnica o materiale ma deve diventare un nuovo paradigma fondato su approccio conoscitivo e culturale nei confronti dell'ambiente costruito e della sua dimensione ecologica.

È il caso anche dell'Oasi High-Tech (Falzetti, Macaione and Autilio, 2022), esempio di micro-architettura urbana scalabile che nasce come oasi per il raffrescamento di utenti e cittadini, con spazi minimi ergonomicamente progettati e arredati, tecnologie digitali di controllo e dispositivi integrati di produzione di energia; la micro-architettura incorpora processi biologici, ne governa i benefici sia sul piano estetico che funzionale e produce un microclima controllato e, attraverso una visione sistemica supportata da un approccio olistico e interdisciplinare e un suo uso creativo e strategico, riconduce l'artefatto naturalistico-vegetazionale nel dominio dei dati valutabili e misurabili del progetto: i modelli di indagine vengono strutturati come processo che crea le premesse per una progettualità innovativa e sperimentale, il cui dato di base è la modularità intesa come principio genetico di future mutazioni scalabili alle quali la stessa architettura si sottomette e la cui somma determina il linguaggio architettonico. Alla micro-architettura sperimentale dello Spin-off DoT5-Lab dell'Università 'Tor Vergata' di Roma fanno da contraltare le costruzioni che si sviluppano in altezza, una tipologia quella dei grattacieli storicamente in contrapposizione con la naturalità dei luoghi, nelle quali tetti giardino, pareti vegetali e orti verticali testimoniano la ricerca di una sostenibilità non più legata esclusivamente all'utilizzo di materiali innovativi o alla riduzione dei consumi energetici da fonti fossili, ma caratterizzata dall'impiego del verde per ridefinire una nuova ecologia urbana della quale esempi mirabili sono due progetti frutto della collaborazione tra Patrick Blanc e Jean Nouvel, le torri del One Central Park (2010) di Sydney e de Le Nouvel KLCC (2016) di Kuala Lumpur (Talenti and Teodosio, 2022). Tuttavia, se il più delle volte è dichiarata come elemento strategico per ridurre l'inquinamento e migliorare il microclima delle unità abitative, la vegetazione nei grattacieli sembra prevalentemente assolvere a funzioni estetiche, con pratiche di greenwashing che possono ridurre la biodiversità.

Le attività antropiche legate all'urbanizzazione, destinate a crescere nei prossimi decenni, determinano una sempre maggiore pressione sull'ambiente e sugli habitat naturali e di conseguenza sulla diversità biologica e sul funzionamento degli ecosistemi; svariate ricerche hanno dimostrato che le correnti strategie di pianificazione e governance, a scala urbana e architettonica, mirano all'integrazione di sistemi e infrastrutture 'verdi' per ridurre l'impatto determinato dall'uomo e realizzare principalmente potenziali benefici per la specie umana, mentre trascurano altre specie viventi (fauna) e ignorano le funzioni ecologiche (intese come insieme di ruoli ecologici svolti da ciascuna specie nel proprio ecosistema) delle altre componenti biotiche che invece possono svolgere un ruolo centrale per la biodiversità locale in termini di qualità, quantità e densità (Schrieke et alii, 2021). Poiché la varietà dei servizi ecosistemici (cioè i benefici che tutti gli esseri animati traggono dagli ecosistemi) in una città dipende dalla dimensione, dal numero e dalla qualità dei suoi spazi verdi (McPhearson et alii, 2015), appare evidente la necessità di sfruttare tutti gli spazi e le superfici disponibili e tra questi quelli dell'involucro dell'edificio che, con i suoi piani verticali, orizzontali e/o inclinati, fornisce una superficie maggiore di quella di suolo occupata per ospitare molte più specie viventi rispetto ai tradizionali sistemi di inverdimento. Condividendo la visione del 'net-positive design' (Birkeland, 2008, 2009), l'ambiente costruito dovrebbe restituire all'ambiente naturale più di quanto consuma e in particolare gli edifici dovrebbero diventare 'eco-produttivi' e compensare l'impatto ambientale legato allo sviluppo precedente, dando spazio agli ecosistemi indigeni e aumentando così i servizi ecosistemici in termini assoluti. Diversi sono gli approcci metodologici che fanno delle conoscenze ecologiche uno strumento progettuale; si fa riferimento all'Animal Aided Design di Weisser e Hauck (2017), una metodologia per la progettazione di spazi aperti urbani che tiene conto dei cicli di vita di alcune specie target e degli obiettivi di conservazione della biodiversità, e al Biodiversity Sensitive Urban Design di Garrard e Bekessy (2015), un approccio che valorizza la biodiversità attraverso la creazione di nuovi habitat per favorire lo spostamento degli organismi attraverso diverse tipologie e

densità di sviluppo urbano (Garrard et alii, 2018); in aggiunta è di notevole utilità per i progettisti la guida tecnica *Designing for Biodiversity* (Gunnell, Murphy and Williams, 2019) che illustra come integrare nelle costruzioni (del Regno Unito) le specie che solitamente nidificano sugli edifici sulla base delle loro esigenze vitali.

In quest'ottica appaiono di estremo interesse alcune ricerche presentate nel volume. La prima riguarda il progetto ECOLOPES (Canessa et alii, 2022) che propone un approccio progettuale sistemico e multidisciplinare in una prospettiva multi-specie i cui bisogni (rappresentati dagli ecologi) diventano una parte intrinseca del progetto per creare ecosistemi urbani rigenerativi: attraverso strategie decisionali multi-criteria e indicatori di performance, dati, modelli e applicazioni si interfacciano per fornire al progettista le informazioni rilevanti e utili a elaborare il Modello Informativo con il quale si può simulare la dinamica temporale e spaziale di animali, piante e sviluppo del suolo in funzione di condizioni abiotiche (tipi di suolo o la disponibilità di luce per le piante o di cibo per gli animali, ecc.); le simulazioni prendono in considerazione anche interazioni biotiche come la gestione umana, la predazione degli animali, la dispersione delle piante o l'approvvigionamento dell'habitat. La seconda riguarda il progetto DeMo – Design and Modelling of Urban Ecosystems – A Spatial-based Approach to Integrate Habitats in Built Ecosystems (Catalano and Balducci, 2022) che ha l'obiettivo specifico di ottimizzare gli strumenti e le modalità di cooperazione tra ecologi e progettisti integrando nei metodi di progettazione mappe di idoneità degli habitat e requisiti di nidificazione e adottando procedure parametriche che automatizzino l'integrazione di elementi BIM nell'involucro edilizio a supporto di specifiche specie selvatiche. La terza ricerca sul Botanical Concrete (Büscher, Polster and Klusmann, 2022) si fonda sull'assunto originale secondo il quale, attraverso un approccio innovativo e interdisciplinare basato sul design thinking, il calcestruzzo con funzione strutturale può essere modificato per ospitare l'insediamento mirato (non dannoso) e la crescita delle crittogame e tracheofite, specie che presentano diverse esigenze di substrato. La sperimentazione condotta dagli autori mette a punto, sulla superficie del calcestruzzo strutturale, un primo substrato con aggregati e un microrilievo tridimensionale che favoriscono la bioricettività per i muschi e un substrato secondario a base di materiali riciclati e con una particolare geometria per creare le condizioni favorevoli per l'insediamento e la germinazione delle tracheofite. La sperimentazione, pur con i limiti di una necessaria verifica degli effetti sul calcestruzzo sul medio e lungo termine, offre una promettente soluzione per integrare in simbiosi architettura e vegetazione, migliorare i microclimi locali, aumentare la biodiversità urbana, creare nuovi biotopi, con potenziali vantaggi tecnologici, estetici ed ecologici e bilanciare l'elevata impronta di carbonio del calcestruzzo.

Oltre al GeoBIM (Moretti et alii, 2021) anche l'Internet of Things, il digitale e il deep learning possono svolgere un importante ruolo nel traghettare una nuova ecologia e soprattutto nel gestire gli spazi inverditi grazie all'innovativo sistema Internet of Nature (IoN). Tramite piccoli dispositivi informatici, tecnologicamente sempre più intuitivi, con consumo e costo contenuti, è possibile passare dalla semplice messa a dimora del verde all'attivazione di forme dirette di controllo dell'habitat in termini di Smart Urban Nature, coinvolgendo i residenti nella presa in carico e gestione dell'ambiente urbano, nel controllo sul processo di crescita e mantenimento della vegetazione, nella tutela fisica e salute ecologica della propria residenza e nella promozione della biodiversità ambientale. Applicazioni tutt'altro che sperimentali (Bellini, Ruscica and Paris, 2022), come Treemania e ApisProtect che consentono rispettivamente di tracciare gli uccelli, monitorare gli alberi e contare le api o la cosiddetta infrastruttura Smart Urban Garden che, attraverso una piattaforma e un piccolo radiotrasmettitore bluetooth, permette la condivisione di una pluralità di dati e informazioni in tempo reale sulla biodiversità, sullo stato di salute delle specie animali e vegetali, sulla qualità dell'aria urbana e sulle condizioni, dimostrano che portando la natura online si aprono inedite possibilità per migliorare il nostro rapporto con la natura e pianificare una gestione condivisa e consapevole di città sempre più verdi e intelligenti.

In conclusione, il quadro teorico e sperimentale presentato dal volume 11 di AGATHÓN, seppur non esaustivo delle potenzialità delle soluzioni basate sulla natura e della vegetazione, dimostra come la loro essenza multifunzionale possa contribuire in maniera rilevante, sia con tecniche tradizionali e vernacolari sia facendo ricorso all'IoT e alle tecnologie digitali, da un lato a contrastare gli effetti derivati dai cambiamenti climatici realizzando un costruito più resiliente e meno vulnerabile a dinamiche di trasformazione erosiva, dall'altro a creare ambienti più sani, valorizzare la biodiversità, fornire servizi ecosistemici, migliorare la qualità della vita, favorire nuove opportunità economiche e sociali e creare catene di valore, agendo contemporaneamente sui processi di rigenerazione urbana con i temi fondativi della circolarità e gli strumenti multiscalari. Per raggiungere nel minor tempo possibile tali obiettivi e superare la cattiva pratica del greenwashing è però necessario dare avvio a un nuovo paradigma fondato sul 'passaggio da un'economia di crescita a un'economia di appartenenza' e su una 'nuova ecologia' con la consapevolezza dell'uomo a instaurare un rapporto di simbiosi, integrazione e adattamento alle diverse scale del progetto, magari incentivando iniziative di formazione come quelle del Valldaura Labs dell'IAAC di Barcellona (Ibañez, Guallart and Salka, 2022) che mira a diffondere pratiche per realizzare paesaggi ecologici e tecnologici olisticamente integrati.



an increase in carbon dioxide emissions. These elements cause a devastating impact on our fragile ecosystem, society and the economy. In 1969, Simon had already guessed the potential of a 'new ecology' whose animate and inanimate elements of the built environment characterise a 'unified' landscape. Beynus' studies (2002) are a knowledge heritage useful for the informed and responsible re-generation of the built environment. Over the millennia, Nature has perfected strategies and solutions, processes and mechanisms to adapt to different climates and physical conditions through the rationalisation of the use of matter and energy by optimising material and immaterial metabolic exchanges.

While the Modern Movement has considered landscape, urbanism, architecture and design as separate disciplines, in the new millennium there is a 'scalar shift' in which they are considered part of a unified territorial system, in which we are called to overcome anthropocentrism and to design for man and living beings, in a connection made of profound knowledge and understanding of the trajectories and reciprocal needs of human and non-human beings (Tesoriere, 2020). The relationship between the parts of the system takes on crucial importance when we adopt a broader and more systemic vision, supported by a holistic and participatory approach (Otto, 2008). Digital technologies can support this 'double convergence' in their shift towards a 'cybernetic ecology' allowing us to see the natural and artificial world as a unicum (Ratti and Belleri, 2020).

The new urban metabolisms, especially in big cities, defined by the United Nations as 'fundamental for economic growth' (UN, 2022), in the scientific literature are considered some of the main causes of climate change and environmental emergency. At the same time, they are considered the main places where to use nature-based solutions, as if they were able to create healthier and liveable cities and to solve the emergency condition of our Planet on their own. A well-established opinion (Pao and Chen, 2019) is that the solution to the environmental problem is a new paradigm based on the decoupling of economic growth, environmental impact, and resource consumption, according to a new circular economic model capable of ensuring the same level of economic productivity with a significant reduction in the use of non-renewable primary resources. In the meantime, one of the most promising solutions is provided by a new eco-systemic vision. It is capable of integrating nature and city, eco-structure and infrastructure, technology, topography and topology, 're-naturalising' – through vegetation in all its forms and values, whether forest, shrub, agriculture but also vegetable and mineral aspects – with a holistic, multi-scalar and cross-cutting approach, existent elements, the connection, the resulting spaces, the urban voids and the marginal areas through new hybrid spatial and architectural repertoires, more permeable, flexible, fluid and organic urban fabrics, meshes and geometries linked to the dynamics of a changing environment and its multi-scalar manifestations (Gausa, 2022). This is the method to favour the shift from a defensive ecology to a proactive and techno-performative one. It was the case of Deep Green in Guatemala City, in which EcoLogicStudio developed an ecological Masterplan that, following an integrated and symbiotic urban metabolism, uses artificial intelligence and algorithms to define scenarios and strategies aimed at enhancing biological infrastructure, metabolising air pollution, managing waste, the water system and carbon trading, and to produce renewable energy (Scalisi and Ness, 2022). These ecosystem services can provide advantages and services for man and the ecosystem.

Over the last twenty years, in Europe, greenery has become a fundamental element at municipal and metropolitan levels – as demonstrated by the renowned All London Green Grid (Greater London Authority, 2012), Pla Director of Barcelona, in 2019 (Àrea Metropolitana de Barcelona, 2020), and the Plans of Valencia, Madrid, Amsterdam and Paris. With actions envisaging the enhancement of urban forests and big peripheral parks to be connected with central areas through a system of green corridors with sustainable mobility and dense and stratified vegetation. The latter is characterised by different species planted on vegetative filter strips, furnished as rest, refreshments and socializing areas. This main system is usually connected with a secondary one with macro-medium-small-micro green areas with mainly recreational (pocket-parks, park areas, etc.) or ecological (urban and community gardens, forestation areas, etc.) functions. At the same time, tactical urban planning initiatives are promoted. They are aimed to overcome the economic availability limit of public works through participatory experimentation contexts (such as the Living Labs in Turin) with co-designed solutions, adapted to the needs of the city and its citizens (Barbero, Giraldo Nohra and Campagnaro, 2022). Another example is the City of Paris and its Le Permis de Végétaliser (Ville de Paris, 2021). Since 2015, this tool allows citizens – after having received authorisation and the initial toolkit – to eliminate the paving for gardening or placing planters on public and communal areas. Further studies are being developed on old towns, such as in Milan, in which the limits imposed by density, protection constraints and morphological complexity shift greening actions from public areas to private spaces and in particular to courtyards, yards and blind façades.

In recent years, the disciplines of Urban Health and Healthy Urban Planning consolidated. They link the populations' health with the urban environments in which they live (Moscato and Poscia, 2015). However, other important cultural landmarks have been created, such as 'the self-sufficient city' (Gualart, 2014). It promotes localised technologies for the production of energy from renewable and waste sources, rainwater management and reuse, the transformation of raw materials into useful objects, and the cultivation of food through greenhouses on flat roofs. It is all managed by IoT through sensors, activators, information systems and user-friendly interfaces within a network with nearby counterparts to create resilient, interconnected, multi-level and flexible urban infrastructures. Another example is the Manifesto for Ecosystemic Planning of Cities and Metropolises by Salvador Rueda (Rueda-Palenzuela, 2019), proposed for the new Barcelona's Urban Mobility Plan. Its 'super-blocks' or 'macro-blocks' (Superilles) limit the majority of private and public traffic flow to their perimeter and guarantee a sustainable road network, rest areas for pedestrians, squares and large green areas (in-

creased by 91%) in which to enhance biodiversity. The 'Ville du quart d'heure' by Carlos Moreno (2020) is another example: it elaborates the concept of proximity for the neighbourhood in which six fundamental functions (living, working, providing, caring, learning and entertainment) must be ensured. Finally, 'wood urbanism' (Ibañez, Hutton and Moe, 2019) in which engineered wood, with its physical and mechanical properties, characteristics linked to the principles of the circular biobased economy and the potential to store carbon is considered as a basic material for the buildings and cities of the future.

Urban green areas are an important tool to implement the 'resilience management' of the contemporary city and therefore to counteract the effects of change acting together with territory-specific vulnerability factors and determine impacts and risks to people and things, businesses and ecosystems, structures and transport. However, the ability to provide 'environmental' benefits is the purpose both of their ecological potential and their proper integration within a wider green infrastructure network. This is the aim of the research papers published on this issue. Some of them are focused on the metaproject and on the set-up of GIS tools capable of structuring hierarchical models to map ecological efficiency of existing green areas and to configure load-bearing elements of a potential network of natural elements linked to the type of required ecosystem services, for example, to evaluate the heat wave impact scenarios in the medium and long term on the most fragile population (D'Ambrosio, Di Martino and Rigillo, 2022). Other research papers investigate the energy-saving and indoor consumption reduction potential in the Mediterranean climate (Clemente et alii, 2022) focusing on sustainable practices of urban regeneration by planting greenery in outdoor spaces around the buildings with shading effects according to the type and technical characteristics of the buildings, the morphology and density of urban fabrics and open spaces, and the tree species included (assessing their size, growth, maintenance, water requirements and solar permeability).

Other research papers investigate urban forestation and the capitalization of natural resources stock with the main objective of contributing to halving carbon emissions by 2030 and reaching total carbon neutrality by 2050. This is the case for the research (Tucci and Giampaolletti, 2022) introducing specific carbon storage taxonomic indices. It focuses on important strategies in the field of green solutions to increase the environmental well-being in public housing districts in the Metropolitan City of Rome. It deals with a design proposal for urban reforestation integrated with the overall regeneration of a specific area of Rome by enhancing native species with high environmental mitigation capacity, the increase of wetlands and the enhancement of open spaces. Moreover, the issue highlights the potential of micro-forestation compared to more structured works such as forestation, which is defined as a 'smart NbS' able to ease the transition processes towards urban sustainability (Frantzeskaki and Rok, 2018) because of its easier implementation, in fact, it requires less time, smaller spaces, less maintenance and reduced running costs. These projects can be especially suitable for the regeneration of the coast system that can benefit from the port areas to limit the effects of urban heat in the summer, reintegrate port infrastructures within the urban system as attractions for citizens and tourists and increase comfort and safety in urban areas that during winter are neglected and empty. By using simulation tools, the implementation of a parametric platform is envisaged. By generating proprietary algorithms, it allows to have a recursive control on every aspect of the process and to evaluate the effects of actions envisaging both a substantial reduction of impermeable surfaces and linear greening systems (rows of plants, hedges, green walls, pergolas, etc.), surface systems (lawns, green roofs, micro-wooded areas, vegetable gardens, etc.), punctual systems (small gardens, green balconies, green corners, etc.) and with a buffer/filter function through green screening surfaces capable of configuring open spaces in 'protected' mode for temporary seasonal activities.

Instead of traditional urban planning that tends to fragment ecosystems, the added values of Eco-Planning are highlighted. This discipline aims at the bio-integration of human and natural subsystems to design four infrastructures – green for nature, blue for water, grey for engineering and red for the man (Yeang, 2009) – and the Water Sensitive Urban Design (Hoyer et alii, 2011), a methodological approach to integrate the interactions between the built environment and the water cycle that provides viable technical solutions for draining and sustainably managing rainwater in the cities. The experimentation on the implementation of a green infrastructure network for rainwater and a limited section of the hydrographic network in an urban fabric of an area north of Naples falls within this framework. It aims to create an assessment method for the induced benefits and compare the performance of simulated interventions (Valente et alii, 2022). In particular, the inter-scalar dynamics of the experimentation made it possible to identify – by analysing the water runoff flow – the areas where to place the Green Stormwater Infrastructures, useful for bio-integration/interaction between green and blue infrastructures with interconnections also with red ones. It aims at increasing the permeability of the soil and vegetation, which is an active component of these infrastructures as it has a depolluting action, but also at improving the sensory perception and comfort of users and at favouring the absorption of air pollutants.

Some green infrastructures are 'green roofs', definitely not a new nature-based solution among the ones proposed by the architectural landscape over the last century. However, to this day, there are not enough studies on green surfaces using wild and ruderal plants, humid subtropical climate areas, capable of providing a wide range of Ecosystem Services at low cost and with low maintenance, surviving in heavily man-made environments and resisting to adverse conditions with water scarcity and shallow substrate. A group of researchers from the University of San Paolo (Chaves Coelho Leite, Gobatti and Gamba Huttenlocher, 2022) provided a paper on the subject. With experimentation made on test benches, they have marked out with scientific precision the first months of growth of wild and ruderal plants on roofs up to reaching full green coverage. This stage is considered fundamental to

fully understanding the dynamics of colonisation and the resilience for subsequent wider use. Through the quantitative and qualitative data analysed for research, it was possible to find the best compromise between the colonisation of the analysed species, the thickness of the substrate and the lightness of the roofing and to highlight the landscape and aesthetic values of these species that contribute to create a more resilient ecosystem and consolidate cultural and historical relations between population and urban vegetation.

Among the assessment parameters of green infrastructures and re-naturalisation processes aimed at tackling the effects of climate change or promoting resilience and biodiversity the ecosystem services, such as urban farming and community gardens, should also be noted as they provide numerous social-ecological benefits to a local scale and promote access to healthy, local food sources. The experience of the last twenty years shows that the reappropriation of public spaces 'between city and countryside' is a growing phenomenon, especially thanks to people under 35 who have created innovative agri-food processes and an agricultural transition in the city that is anything but bucolic (Negrello et alii, 2022). Going beyond their main function, agricultural spaces fulfil different functions (innovative production scenarios, agritourism hospitality, green infrastructures, ecologic corridors, well-being and leisure landscapes, etc.) projecting towards systems integrating better men, environment and (traditional and advanced) technology at the different scales of the project. This is the case for the projects and experimentations (BIO.tech HUT, BioBombola, PhotoSynthetica Curtains and BioFactory, just to name a few) made by ecoLogicStudio. With the support of microbiology and biotechnology, they use plants (but also animal) species, and in particular algae, as natural infrastructures, biological interconnections, biosensors or metabolisers of urban pollutants, and nutrients with a high protein content (Scalisi and Ness, 2022).

In this 'hyper-functional' context, in addition to promoting healthier and more sustainable food sources – thus implementing functional processes necessary for everyday life – agriculture can determine new economic, social and quality opportunities for our urban habitat. It can create chain values to improve the handling of environmental resources and make urbanised contexts less vulnerable to erosive transformation dynamics. However, it can work on urban regeneration processes with key subjects of circularity, such as re-use and recycling that become multi-scalar tools, for example on resource supply, by increasing the re-use of stormwater runoff or the re-use of municipal organic waste as fertilisers (Ferreira et alii, 2018). Agricultural production waste can create new materials (Ferrara and Squatrito, 2022), as shown by an emerging and productively diverse organisation of dynamic companies that have made different but important progress in terms of production, marketing and distribution of innovative and bio-based circular materials and products.

There are many examples worth mentioning whose common thread is the company's ability to narrate the products starting from the materials, their bond with the territory and local communities and the range of craftsmanship and industrialisation levels. Miyuca (Italy) designs and manufactures artisanal objects with a new composite material (LAAB), based on deciduous leaves and a resin of natural origin, to produce table tops and lamps. KeepLife (Italy) produces a composite material with a wood base, mouldable and self-hardening, using dried fruit shells and lignin without loads or fillers, solvents or formaldehyde, with different colourings made of pigments taken from local soils. Otan (Turkey) sells semi-finished products with 0.2 to 2 cm thick panels for indoor cladding made from food and agricultural waste or clippings and pruning and binders of natural origin. Mogu (Italy) creates and sells sound-absorbing panels made of waste from agro-industrial production, cotton fibres and straw, colonised by mycelium spores. Coffeefrom (Italy) is a bisphenol-free material made from local coffee waste used in the production of cups, glasses and packaging certified for food contact. Also, the international project Creative Food Cycles (Sommariva, Canessa and Tucci, 2022) goes in this direction. They create compostable pottery and vases from coffee waste, with milk waste they restore the ancient process of fake mother-of-pearl production and with other waste materials (fish bones, egg shells, fruit peelings and dried nutshells) create bio-materials complementary to prototyping products, always considering domestic replicability and reproducibility of processes.

Once the classic artificial/natural dualism is eliminated, at the architectural scale new design scenarios emerge, also capable of profoundly affecting the language and expressiveness of the built environment, on the one hand by re-evaluating indigenous and vernacular practices and techniques that re-discover traditional materials, and on the other by exploiting the potential of computer sciences, bio-engineering, digital technologies, parametric design and 3D printing. They open up to new mediations and intelligence forms borrowed from a multiplicity of living species, to configure bio-design and bio-architecture solutions, but also new opportunities for circular sustainability, biodiversity, health, well-being and quality of life. A design inspired by nature begins to take shape. It is based on a conceptual dimension that is anything but dogmatic. It shows that is possible to overcome the greenwashing bad practice and to create a 'new ecology' in which man and nature characterize an unprecedented 'unified' landscape in a profound bond made of mutual knowledge and understanding to build a relationship based on symbiosis, inclusion and adaptation.

An artefact that is no longer 'inert' is provided by the integration of the greenery into the project with the recovery of vernacular and ecological construction techniques such as Khasis, Uros and Maasai's techniques (Balducci and Camilli, 2022) – which integrate the organic and changing dimension of greenery into the built space – or indigenous' techniques, such as those enhanced by the Canadian studio Brook McIlroy (Falzetti, Macaione and Autilio, 2022). With the support of native architects, they investigate the uneven nature of wood in order to integrate it into the construction process and design – the same aim pursued by the Institute for Computational Design and Construction, and

by the Architectural Association. Hence, the artefact becomes a new part of a wider and more complex ecology. With different tools but the same aim and ability to minimise the environmental impact of the built environment, the mentioned cases show that integrating greenery in the project is not just a technical or material problem but should become a new paradigm based on a cognitive and cultural approach to the built environment and its ecological dimension.

This is the case of Oasi High-Tech (Falzetti, Macaione and Autilio, 2022). It is an example of scalable urban micro-architecture created as an oasis for users and citizens, with ergonomically minimal spaces designed and furnished, digital control technologies and integrated power generation devices. Microarchitecture incorporates biological processes, manages its benefits on an aesthetic and functional level and creates a controlled microclimate. Through a systemic vision supported by a holistic and cross-disciplinary approach and with a creative and strategic use, it brings the naturalistic-vegetation background back into the domain of assessable and measurable project data. The investigation models are structured as a process that creates the premises for an innovative and experimental design, where modularity is its pillar intended as a genetic principle of future scalable changes to which architecture is submitted and whose sum determines the architectural language. The experimental micro-architecture of Spin-off DoT5-Lab at the 'Tor Vergata' University of Rome is counterbalanced by high-rise buildings. Skyscrapers are historically opposed to the nature of places, where roof gardens, green walls and vertical green gardens show the search for sustainability no longer exclusively linked to the use of innovative materials or the reduction of energy consumption from fossil sources but are characterised by the use of greenery to redefine a new urban ecology. Two admirable projects originating from the collaboration between Patrick Blanc and Jean Nouvel are the One Central Park (2010) towers in Sydney and the Le Nouvel KLCC (2016) in Kuala Lumpur (Talenti and Teodosio, 2022). However, even if most times it is considered the fundamental element to reduce pollution and improve the microclimate of house units, skyscrapers' greenery seems mostly used to fulfil aesthetic functions, with greenwashing practices that, with a contemporary surface and an expensive 'dress', can reduce biodiversity.

Human activities linked to urbanisation, destined to grow over the next decades, always determine a higher pressure on the natural environment and habitats and, consequently, on biodiversity and the ecosystem's functioning. Many research studies have shown that current planning and governance strategies, at urban and architectural scales, aim at the integration of 'green' systems and infrastructures to reduce human impact and mainly create benefits for humans, while neglecting other living beings (fauna) and ignoring the ecological functions (the set of ecological roles played by each species in its ecosystem) of the other biotic components that could have a key role in local biodiversity for quality, quantity and density (Schrieke et alii, 2021). Since the variety of ecosystem services (the benefits all living beings get from ecosystems) in a city depends on the size, number and quantity of green spaces (McPhearson et alii, 2015), it is clear the need to use all the available spaces and surfaces. These include the building envelope spaces, which, with their vertical, horizontal and/or inclined planes, provide a greater surface area than the floor area to locate many more living species than traditional greening systems. Sharing the 'net-positive design' (Birkeland, 2008, 2009) vision, the built environment should give back more to the natural environment than it consumes and, in particular, buildings should become 'eco-productive' and compensate for the environmental impact linked to the previous development, giving space to indigenous ecosystems and increasing ecosystem services in general. Several methodological approaches make ecological knowledge a design tool. We refer to Animal Aided Design by Weisser and Hauck (2017), a method to design urban outdoor spaces considering the life cycles of some target species and the objectives of biodiversity conservation, and the Biodiversity Sensitive Urban Design by Garrard and Bekessy (2015), an approach that enhances biodiversity by creating new habitats to encourage the movement of organisms through different types and densities of urban development (Garrard et alii, 2018). Another useful technical guide for designers is Designing for Biodiversity (Gunnell, Murphy and Williams, 2019); it shows how to integrate species that usually nest on constructions into (UK) buildings based on their vital needs.

In this framework, some research papers presented in the issue are extremely interesting. The first one concerns the ECOLOPES (Canessa et alii, 2022) project, it proposes a systemic and cross-disciplinary design approach in a multi-species perspective whose needs (represented by ecologists) become an intrinsic part of the project to create urban regenerative ecosystems. Multi-criteria decision-making strategies and performance indicators, data, models and applications confront to provide the designer with relevant and useful information to elaborate the Information Model needed to simulate the temporal and spatial dynamics of animals, plants and soil development, depending on abiotic conditions that may concern soil types or the availability of light for plants or food for animals. The simulations also consider biotic interactions such as human management, animal predation, plant dispersal or habitat provision. The second concerns the DeMo – Design and Modelling of Urban Ecosystems – A Spatial-based Approach to Integrate Habitats in Built Ecosystems (Catalano and Balducci, 2022). It aims specifically at improving the tools and modes of cooperation between ecologists and designers by integrating into design methods habitat suitability maps and nesting requirements and adopting parametric procedures that automate the integration of BIM elements into the building envelope to support specific wildlife species. The third research on Botanical Concrete (Büscher, Polster and Klusmann, 2022) is based on the original idea that, through an innovative and cross-disciplinary approach based on design thinking, concrete with a functional structure can be modified to locate the targeted (non-damaging) establishment and growth of cryptogams and tracheophytes, species with different substrate requirements. The experimentation carried out by the authors sets up, on the surface of structural concrete, the first substrate with aggregates and a three-dimensional microrelief that

promote bio-receptivity for mosses and a secondary substrate based on recycled materials and with special geometry to create favourable conditions for the establishment and germination of tracheophytes. The experimentation, although limited by a necessary verification of the effects of concrete in the medium and long run, provides a promising solution to symbiotically integrate architecture and vegetation, improve local microclimates, increase urban biodiversity, and create new biotopes, with potential technological, aesthetic and ecological advantages and compensate for the high carbon footprint of concrete.

Together with GeoBIM (Moretti et alii, 2021), the Internet of Things, digital and deep learning can have an important role in the implementation of a new ecology and especially in the management of greener spaces thanks to the innovative Internet of Nature (IoN) system. Employing small, increasingly technologically intuitive, low-consumption and low-cost computing devices, it is possible to shift from simply planting greenery to activating direct forms of habitat control in terms of Smart Urban Nature, involving residents in taking care of the urban environment, controlling the growth and maintenance process of greenery, protecting the physical and ecological health of their location and promoting environmental biodiversity. Treemanía and ApisProtect, far from being experimental apps (Bellini, Ruscica and Paris, 2022), allow respectively to track birds, monitor trees and count bees, or the so-called Smart Urban Garden infrastructure. Through a platform and a small Bluetooth radio transmitter, the latter enables to share data and information in real-time on biodiversity, the health status of animal and plant species, urban air quality and conditions, demonstrating that bringing nature online opens up unprecedented possibilities for improving our relationship with nature and planning shared and conscious management of ever greener and smarter cities.

In conclusion, the theoretical and experimental framework presented by AGATHÓN issue number 11, although not exhaustive of the potential of nature-based solutions, shows that their cross-disciplinary essence can relevantly help – both with traditional and vernacular techniques and using IoT and digital technologies – to counteract the effects of climate change by creating a more resilient built environment, less vulnerable to erosive transformation dynamics, and to create healthier environments, enhance biodiversity, provide ecosystem services, improve quality of life, foster new economic and social opportunities and create value chains, while acting on urban regeneration processes with the circularity and multi-scalar tools as pillars. To achieve these goals in the shortest possible time and overcome the greenwashing bad practice in design, it is necessary to start a new paradigm based on the ‘shift from an economics of growth to an economics of belonging’ and on a ‘new ecology’ in which man and nature characterize an unprecedented ‘unified’ landscape in a profound bond made of mutual knowledge and understanding to build a relationship based on symbiosis, inclusion and adaptation at the different scales of the project. For example, by stimulating training initiatives such as those of the Valldaura Labs of the IAAC in Barcelona (Ibañez, Guallart and Salka, 2022), which aim to disseminate practices for holistically integrated ecological and technological landscapes.

Cesare Sposito  
*Co-Scientific Director*  
*Associate Professor of Architectural Tehcnology*  
*University of Palermo*

**VEGETAZIONE**  
LA SUA SIMBIOSI  
CON IL COSTRUITO

**GREENERY**  
ITS SYMBIOSIS WITH  
THE BUILT ENVIRONMENT

## TOPOLOGIE VERDI E PAESAGGI OLTRE IL PAESAGGIO

30 anni di ricerche sulla ibridizzazione del verde

## GREEN TOPOLOGIES AND LANDSCAPES BEYOND THE LAND

A 30-year research on green hybridization

Manuel Gausa

### ABSTRACT

I nuovi metabolismi urbani e la loro condizione antropica accelerata richiedono una nuova visione sistemica ambientale interconnessa, capace di favorire non solo un'efficace interazione tra 'fabbriche' e 'paesaggi' inter- ed endo- urbani, ma anche una nuova dimensione 'verde' più fluida e trasversale, volta a incoraggiare una fertile incontro tra natura e città, eco-struttura e infra-struttura, tecnologia, topografia e topologia, intrecciando il territorio, re-informando i suoi stessi tessuti strutturali e soprattutto 're-naturalizzando', attraverso maglie flessibili, le sue diverse e variegate preesistenze. Si rendono necessarie nuove strategie eco-sistemiche 'città-architettura-infrastruttura-paesaggio' ma anche nuovi tipi di repertori spaziali dalle geometrie più complesse (più flessibili, elastiche e organiche) legate alle dinamiche di un ambiente in mutazione e alle sue manifestazioni multi-scalari: nuove topografie, topologie e topomorfie (ma anche paratopologie) più ibride perché, paradossalmente, più sensibili alla natura; approcci favoriti dall'attuale capacità eco-tecnologica di lavorare con nuovi materiali responsivi in cui la vegetazione e tutti gli organismi bio-attivi si combinerebbero in nuovi dispositivi spaziali multi-scalari, 'ambienti in/di rete', evidenziando il passaggio da un'ecologia difensiva a un'ecologia proattiva e persino a un'ecologia sempre più techno-performativa.

New urban metabolisms and their faster anthropic status require new inter-connected environmental systems, able to encourage effective interaction between inter-and endo-urban 'factories' and 'landscapes', but a new, much more fluid and transversal 'green' dimension, aimed at fostering a fertile encounter between nature and the city, eco-structure and infrastructure, technology, topography and topology, interweaving the territory, reinforcing its very structural fabrics and above all 'renaturalising', through flexible meshes, its diverse and varied pre-existences. New eco-systemic 'city-architecture-infrastructure-landscape' strategies are required, but also new types of spatial repertoires with more complex geometries (more flexible, elastic and organic) linked to the dynamics of a changing environment and its multi-scalar manifestations: new topographies, topologies and topomorphies (but also para-topologies) that are more hybrid because, paradoxically, they are more sensitive to nature; approaches favoured by the current eco-technological capacity to work with new responsive materials in which vegetation and all bio-active organisms would combine into new multi-scalar spatial devices, 'networked environments', highlighting the shift from a defensive ecology to a proactive ecology and even an increasingly techno-performative ecology.

### KEYWORDS

eco-reti, città intrecciata, topos operativi, topologie verdi, dirty ecologies

eco-networks, interwoven city, operational topos, green topologies, dirty ecologies

**Manuel Gausa**, Architect and PhD, is a Full Professor of Urban Planning and Coordinator of the PhD in Architecture & Design, at the University of Genova (Italy). He was Co-founder and Dean (2012-2015) of the IAAC-Institut of Advanced Architecture of Catalunya, the Director of the Quaderns d'Arquitectura i Urbanisme Journal (1991-2000), and co-founder of the Actar group. His research interests focus on the urban and territorial perspective and on architecture and landscape understood as multi-scalar systems and devices. He was awarded the Médaille de l'Académie d'Architecture de France. E-mail: mgausa@arch.unige.it

Molte volte viene citato e attribuito a Le Corbusier l'aforisma 'quando un edificio è brutto, basta coprirlo di verde'. In realtà, non c'è traccia di una frase del genere pronunciata da Le Corbusier stesso, ma piuttosto qualcosa di molto diverso con cui l'architetto sosteneva che i materiali dell'urbanistica fossero il sole, gli alberi, il cielo, l'acciaio, il cemento, in questo ordine gerarchico e indissolubile. Il suddetto aforisma sarebbe piuttosto l'opera del talento ironico di George Bernard Shaw che in modo provocatorio voleva sottolineare come gli architetti tendessero a nascondere i propri errori sotto l'edera, i medici sotto la terra e i cuochi sotto la maionese (Fig. 1). Vi è, tuttavia, un certo disprezzo storico per una condizione 'verde' troppo vicina al pittoresco del giardinaggio o del paesaggismo classico, eccessivamente vago, morbido, organico o 'superficiale' rispetto al purismo preciso delle volumetrie urbane più disciplinate.

Tuttavia, con l'introduzione, tra i secoli, delle nuove logiche della complessità – associate all'era digitale – le frontiere tra divisioni e tassonomie dicotomiche (naturale/artificiale, architettura/paesaggio, vegetale/minerale, reale/virtuale, volume/superficie, ecc.) si sono rapidamente attutite. Il 25 febbraio 1995 furono annunciati i risultati del concorso per il Terminal di Yokohama, vinto da FOA (Zaera-Moussavi): sebbene precedenti esperienze di OMA, H2O, Roche & Sie, UnStudio o njric & njric (e naturalmente a metà del XX secolo assaggi come quelli del Team Tean o dello studio Oblique di Parent e Virilio) avevano sperimentato soluzioni vicine alla manipolazione programmatica del suolo proposta nel progetto, raramente questa era stata così esplicitamente e programmaticamente espressiva. L'immagine del nuovo Terminal illustrava alla perfezione la volontà di mediazione spaziale tra materia, traiettoria e flusso attraverso un sistema operativo piuttosto che una forma evocativa.

Il concetto di 'ni-wa-minato' – lo slogan della proposta – suggeriva una vocazione intermedia tra natura e città e indicava il carattere ibrido ('mix-set and mix-use') del meccanismo proposto. Il progetto prevedeva una grande superficie piegata e continua, intesa come un suolo fluttuante su uno spazio fluido (l'acqua, il mare): un paesaggio artificiale su un paesaggio naturale ma anche un'infrastruttura tecnologica su un 'terreno tecnico'. Un esempio paradigmatico, in cui il tetto dell'edificio è al tempo stesso il suolo, assumendo un'importante funzione di nodo, bivio e incrocio multi-scalare, ma anche di 'campo' di forze destinato a modellare, sintetizzare e catalizzare movimenti, scambi e tensioni urbano-paesaggistici espressamente 'trans-territorializzati'. E su questo spazio metallico mineralizzato si intuiva già un 'verde' latente che suggeriva la sua vocazione di nuovo 'park-in' artificiale, in cui si indovinava la presenza di una possibile vegetazione superficiale, naturale e/o artificiale (Fig. 2).

Il progetto di FOA promuoveva, al pari di altre proposte contemporanee innovative, uno spettacolare cambio di paradigma nella definizione di questa potenziale interazione 'architettura-infrastruttura-paesaggio' innestata e intrecciata. Tappeti, onde, dune, bacini, solchi, trincee e piattaforme risponderrebbero a configurazioni artificiali non molto distanti – nelle loro immagini spaziali – da quelle più naturali, trancia-

te o deformate, strappate e/o lacerate; una logica digitale capace di combinare, simultaneamente, livelli multipli d'interazione in scenari relazionali progressivamente complessi, dinamici e diversificati.

La combinazione Interazione + Informazione + Integrazione, ergo Innovazione, è il tema della grande rivoluzione spaziale-culturale del nostro tempo, una rivoluzione chiamata a ripensare nozioni consolidate per l'interpretazione (e progettazione) dello spazio rispetto a questioni di ordine, forma, organizzazione, struttura, geometria, rappresentazione e/o linguaggio architettonico, tutte meno lineari, tassative o deterministiche perché più eterogenee, dinamiche e complesse. Vengono re-interpretati anche i concetti di 'natura' che diviene sempre più ibrida, fluida, sintetica e/o biologica, di 'paesaggio' che assume un ruolo più programmatico e meno secondario (ovvero non più come scenografia percettiva ma scenario propositivo, performativo), di 'città' non più come fabbrica urbana, densa e costruita ma come sistema ambientale e meso-ambientale (cioè 'un milieu entre milieux') naturale e artificiale, multi-urbano e territoriale, architettonico e paesaggistico, infrastrutturale ed eco-strutturale allo stesso tempo (D'Arienzo and Younés, 2018).

**Città compatta, città diffusa, città in rete: paesaggi in rete, riciclo urbano e matrici intrecciate** | La crescente accelerazione dei fattori di mobilità, connettività e scambio ha reso evidente negli ultimi decenni il carattere dinamico degli attuali sistemi urbani e la loro nuova dimensione 'geo-urbana'. La 'multi-città' si rivela, sempre più, un complesso 'poli-territorio' di ricche relazioni, una macchina di scambio(i) volta, generalmente, a materializzare la localizzazione dispersa di programmi, usi e funzioni, in grado di favorire una maggiore efficienza e redditività (sia connettiva che economica) tra attività, insediamenti e luoghi, con i relativi costi ecologici in termini di consumo di energia, suolo, materiali, ecc. (Harvey, 1985; Batty and Longley, 1994; Gausa, 2009, 2011; Rueda, 2011).

Gli spazi insediativi, responsabili del 40% delle emissioni di CO<sub>2</sub>, tendono a prendere forma con geometrie rizomatiche e frattali, puntuali e dense, ma discontinue e irregolari. Nell'attuale ambito 'glocale' caratterizzato dal dinamismo, la previsione di spazi connettivi/correttivi (resilienti) mette in valore vuoti e superfici di margine e di risulta (riserve naturali, spazi verdi interstiziali, aree agricole e/o piattaforme bio-attive) che, rispetto alle emissioni, assumono un'importanza cruciale per lo sviluppo più sostenibile di un territorio poli-centrico e 'dis-denso', cioè discontinuamente denso.

A tal proposito è da considerare che, sebbene il dibattito tra sostenibilità e morfologia urbana sia stato tradizionalmente caratterizzato dalla dualità compatto/difuso, le attuali linee di ricerca sostengono una definizione meno dicotomica e mono-centrica per i nostri habitat, promuovendo grandi spazi intermedi e 'inter-medianti' (sostanzialmente verdi) a tutti i livelli e scale (urbane e territoriali), in una logica sistemica in grado di stabilire nuove geografie multi- e inter-urbane: geo-urbanità, insiemi, reti, ecc. I nuovi metabolismi urbani e la loro condizione acceleratamente antropica richiedono, infatti, una

nuova visione sistemica ambientale interconnessa (Fig. 3), capace di incentivare non solo un'efficace interazione tra 'fabbriche' e 'paesaggi' inter- ed endo-urbani, ma anche una nuova dimensione strutturale verde, fluida e trasversale, volta a favorire un fertile incontro tra natura e città, eco-struttura e infra-struttura, tecnologia, topografia e topologia, intrecciando il territorio, re-informando i suoi stessi tessuti strutturali e soprattutto 're-naturalizzando' le sue diverse e variegate preesistenze (Gausa, 2018b; Schröder et alii, 2018).

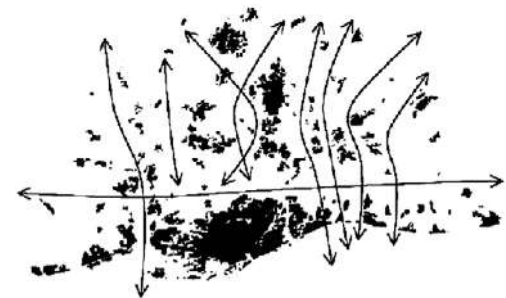
In quest'ottica i termini Land-Links, Land-Grids e ReCitying associati alle nuove dinamiche delle n-Città (Carta, Lino and Ronsivalle, 2016; Gausa, 2014, 2018a; Gausa and Ricci, 2014) appaiono utili per definire possibili strategie integrative volte ad assicurare processi globali e sviluppi locali più qualitativi, legati alla grande scala (territoriale) e alla scala intermedia (urbana) attraverso strutture flessibili e paesaggi operativi (interconnessi) messi in rete in modo olistico attraverso matrici complesse nelle quali il 'verde' urbano, periurbano e interurbano (declinato in tutte le sue differenti sfumature, valenze o gradienti forestali, arbustivi, agricoli, idrici, ma anche vegetali e minerali; Fig. 4) svolge un ruolo fondamentale, operativo e proattivo (Nel.io, 2001; Rueda, 2011; Waldheim, 2016).

Già a livello Europeo l'incidenza delle emissioni di carbonio delle grandi conurbazioni urbano-regionali come quelle del Grand Luxembourg (15,5 tCO<sub>2</sub>/ab./anno), del Randstad olandese (8,5 tCO<sub>2</sub>/ab./anno), del Grand Paris/Île de France (5-6 tCO<sub>2</sub>/ab./anno), del Grande Milano in Italia (da 5 a 7 tCO<sub>2</sub>/ab./anno), delle Aree Metropolitane di Barcellona e Madrid in Spagna (da 5 a 6,5 tCO<sub>2</sub>/ab./anno) evidenziano l'importanza di questo necessario fattore connettivo/correttivo nelle megalopoli contemporanee, non solo per uno svago sano e sensoriale ma anche per una interazione positiva con l'ambiente e tra gli ambienti e per un nuovo tipo di convivenza programmatica mista (Nel.io, 2001; Gausa, 2011; Llop, 2011; Rueda, 2011).

Articolare ed estendere questa nuova dimensione eco-sistemica della città contemporanea richiederebbe di collegare possibili strutture eco-sistemiche, creando 'cinture e corridoi verdi' (semi) naturali tra le diverse trame e tessuti esistenti, non solo per valorizzare il paesaggio urbano e interurbano ma anche per ridefinire strategicamente la mobilità prevedendo nuove 'aree' pedonali e vegetali in grado di promuovere la biodiversità. In questo senso la riqualificazione delle aree agricole avrebbe un'importante ruolo nel favorire da un lato nuovi modelli circolari (seconda vita dei materiali, eliminazione degli sprechi, bio-energia, ecc.), tramite approcci innovativi, dall'altro nuovi programmi turistico-ricreativi (Sommariva, 2015; Tucci, 2020).

La 'rinaturalizzazione' dei paesaggi e dei tessuti (urbani e interurbani) potrebbe essere attuata oggi anche tramite involucri eco-efficienti, orizzontali o verticali, in grado di assorbire il carbonio; ciò comporterebbe il potenziamento della diversità urbana, il miglioramento del benessere dei cittadini, la trasformazione delle vecchie infrastrutture obsolete in residenze, spazi industriali, infrastrutture di trasporto o di logistica, l'elaborazione nuovi repertori edilizi e un nuovo ge-





**Fig. 1** | Traditional house (1940s) with climbing green facades (source: Commons Archive); Green Façade of the Musée Quai Branly (1990) by Patrick Blanc.

**Fig. 2** | The Ferry Terminal in Yokohama designed by FOA (Foreign Office Architects, Zaera-Moussavi): initial project (1995), and realised project (2001) with the 'stained green' as the materialisation of a latent Park-in logic.

**Fig. 3** | Barcelona, Sprawl City & Green Fingers (credit: Actar Arquitectura, 2001).

neri di spazi pubblici permeabili e interattivi (Figg. 5, 6). Tuttavia in molti casi più che di spazi verdi dovremmo parlare di veri e propri 'paesaggi misti' (multi-programmatici) per una proiezione – globale e locale – destinata a collegare luoghi, ambienti e cittadini.

**Topografie operative: Lands-in-lands, Land-Arch** | Il mondo digitale e le tecnologie dell'informazione hanno ampliato in modo esponenziale l'interazione tra spazio e informazioni, cioè la capacità di parametrizzare, (ri)elaborare e simulare possibili scenari attraverso mappature informazionali (tendenziali) e strategie relazionali (intenzionali) per la città e il territorio; hanno permesso dunque, di condensare, vettorializzare e integrare (Fig. 7) livelli di informazioni e reti di relazioni (e connessioni) spaziali, sociali, funzionali e ambientali (Lynn, 1997; Leach, 2014; Gausa, 2010, 2018a).

Il passaggio dall'idea di spazio architettonico interpretato come oggetto formale (sostanzialmente compositivo) a uno spazio 'architettonico-paesaggistico' (inteso come sistema/ambiente informazionale) promuove un'inedita lettura tecnologicamente più avanzata della città-paesaggio e della sua gestione interattiva, ma anche una nuova sensibilità eco-sostenibile in cui spazio costruito e spazio verde possono essere combinati in nuove relazioni multifunzionali e multidimensionali (Gausa and Vivaldi, 2021). L'azione progettuale sarebbe così in grado di individuare nuove strategie e strutture eco-sistemiche tra città, architettura e paesaggio, ma anche nuovi tipi di repertori spaziali con geometrie più complesse legate alle dinamiche di un ambiente in mutazione e alle sue manifestazioni multi-scalari, nuovi 'campi' di forze variabili e reattivi, nuove topografie, topologie e topomorfie (e anche paratopologie) più ibride perché, paradossalmente, più sensibili alla natura (Figg. 8, 9). Nuove logiche spaziali, dunque, per la configurazione di strutture verdi permeabili, capaci di favorire un approccio olistico e trasversale tra situazioni, condizioni e definizioni urbane, territoriali e ambientali, evidenziando il trasferimento da una un'ecologia re-

sistente o difensiva a un'ecologia proattiva e persino più tecno-performativa.

Una 'architettura-paesaggio' può essere quindi interpretata come un nuovo 'topos operativo' (una topografia-topomorfia n-dimensionale nei suoi rilievi e una 'topologia' multifunzionale nella sua geometria, plastica e diversificata) in grado di reagire e 'far reagire' alle nuove condizioni informazionali del nostro tempo. In questo contesto, urbano e ambientale, fisico e digitale, il termine 'paesaggio' (inteso non solo come spazio aperto, prevalentemente verde, ma come scenario relazionale, superficie attiva e reattiva) e la sua rilevanza nel recente background disciplinare si pone in primo piano ben al di là del 'giardinaggio' tradizionale. Si tratta quindi di accettare che il 'paesaggio' – e le sue diverse declinazioni spaziali – non sia solo una 'categoria' o un 'argomento' ma costituisca un autentico 'potenziale' strutturante nella nuova città. Architettura e paesaggio, paesaggio e architettura, confermerebbero nuovi contratti ibridi con la natura attraverso due categorie a lungo estranee e oggi in sinergia (Gausa, 1997, 2010, 2018a).

**Suoli e rilievi topomorfici** | Nell'esplorazione di questo nuovo tipo di topografie operative la prima vocazione è stata quella di esplorare la capacità stessa del suolo, delle sue trame e consistenze attraverso una possibile 'architettura dell'orizzontalità' (Beigel 1997; Betsky, 2002; Gausa, 2010, 2018a; Waldheim, 2016). Progetti come i Solenoides di FOA-Zaera-Moussavi (Yokohama, 1996; Seoul Myeong-Dong, 1995) o le Simulated Topographies e altre sperimentazioni di Kelly Shannon tra 1993 e 1994 (Shannon, 2000) potrebbero, infatti, essere associati ai Landspaces di Florian Beigel (Beigel, 1997) in riferimento al potenziale articolatorio di un 'rastrellamento' del terreno implicitamente ricoperto di macchie o grandi lamine verdi (Fig. 10).

Alcuni tra i primi lavori di Francois Roche & DSV & SIE basati su dinamiche di 'pizzicamento' del suolo (sotto forma di tumuli più o meno evidenti) si collegano alle trincee di Francis Soler per il Parlamento Vallone (Namur, 1995) o di nj-

ric & njric (Folding-Atom Heart, Glasgow, 1996) oppure ad altri progetti risonanti come la proposta Puzzle (Jacob-MacFarlane, 1998) simile al Fitness Center Juan Carlos I (OAB-Carles Ferrater, 1996) o ai più recenti e noti Seoul EWAH University (Dominique Perrault, 2008) e Cantina Antinori (Archea, 2013), dove il verde superficiale si sovrappone, inchina, curva, aggrinzisce o slitta in modo simile alle paradigmatiche Topografie Operative (2001-2003), anticipate da Actar Arquitectura nei Living-Fields proposti per il progetto Sociopolis (Valencia, 2005) o per il sistema Meseta-EIEm(m)ental del 2006 (Figg. 11-14).

Ripiegghi, creste, picchi, cumuli, rialzi ed estrusioni, ma anche piantagioni, rivestimenti vegetali o veri camouflages, compongono un vocabolario oscillante tra il geometrico, il geologico e il geografico che permette di sintetizzare programmi, situazioni e ambienti in traiettorie di configurazione sostanzialmente geomorfologiche (Guallart, 2009): i diversi prototipi per l'Auditorium spagnolo di Pamplona di Eduardo Arroyo, le Geoforme di Vicente Guallart – dalla sua Casa en el Limite de la Ciudad (1995) alla Casa de los Siete Picos (1998) fino alle strutture di Denia (2000) e di HiperCat (2003) – sono esempi interpretabili come multi-livelli piegati, spostati verso una copertura variabile, sostanzialmente verde, percorribile ed eco-efficiente (Figg. 15, 16). Molte di queste indagini pionieristiche potrebbero essere paragonate ad altri casi paradigmatici come i diversi 'enclave' imboscati (Figg. 17, 18) di François Roche & DSV (Maison sur les Arbres, 1994), Duncan Lewis (Pavillon sur l'Eau, 1995; Maisons Rurales, Jupilles, 1997) o Abalos-Herreros per la Casa Verde in Madrid.

Diversi progetti abitativi collettivi, realizzati tra 1998 e 2018 da Edouard François (Block that Grows, Montpellier, Flower Tower, M6B2 Tower of Biodiversity), sarebbero concepiti con premesse simili in altezza. Il bosco verticale di Stefano Boeri (Milano, 2017), la Torre Huerta di MVRDV (una torre agro-vegetale intesa come una derivazione verticale del progetto Wozooko per il quartiere Sociopolis di Valencia, 2003) o la Tour des Fleurs di Edouard François (Paris, 2004)

costituirebbero, in questo senso, un nuovo genere di approcci a-tipologici (o anti-tipologici) ver(d)ticali (Fig. 19).

Altre proposte di folding-pilling dello stesso studio MVRDV, come la Villa VPRO (Utrecht, 1993-1997), The Silicone Hill (Stoccolma, 2000) o il Padiglione Piled-up Nature per la mostra di Hannover 2000 anticipano, in questa linea, alcuni importanti progetti di BIG come la Mountain Dwellings (Copenaghen, 2003), la Lego Towers (Copenaghen, 2007) o la Inside Copenhill (2019), dove tettonica 'in verticale' e topologia 'in diagonale' si uniscono e mescolano.

Le condizioni 'naturartificiali' e verdivalenti sono comuni a tutti questi progetti concepiti, da un lato come movimenti topologici di flusso informazionale, dall'altro come movimenti geomorfici o geo-morfologici di pieghe spaziali e funzionali, movimenti sintetizzati in un nuovo tipo di paesaggi condensati, multi-programmatici in cui l'efficacia dell'architettura non risiede nell'istanza figurativa dell'oggetto ma nella capacità di proporre un nuovo tipo di topos astratto capace di rispondere alla natura complessa, mutevole, combinatoria, flessibile, ibrida e irregolare dei sistemi dinamici geo-urbani (Guallart, 2009; Gau-

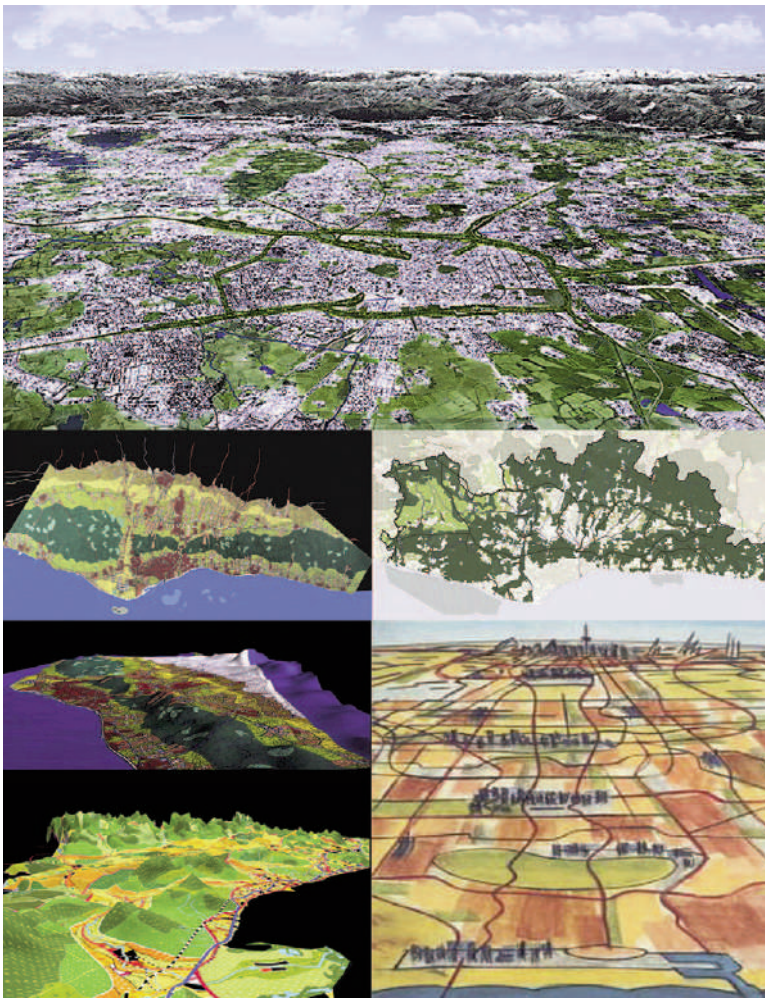
sa, 2009); sperimentazioni sulla forma, ma anche fiducia in un nuovo 'contratto naturale' nei nostri contesti abitativi, in cui l'aspetto complice di un'architettura in sintonia con il paesaggio (piuttosto che integrata in esso) risiederebbe proprio nella sua capacità di incorporare soluzioni plastiche sorprendenti e insolite, stimolate dalla possibilità di incorporare la natura, valorizzarla, riformularla, arricchirla piuttosto che 'preservarla'.

**Paesaggi responsivi, paesaggi performativi: Bold Ecologies, Dirty Ecologies** | I primi as-

saggi pionieristici degli anni '90, multi-scalari (o a-scalari), legati a una architettura della 'simultaneità multi-tipologica' e della 'fluttuazione multi-programmatica', hanno lasciato il posto a un'architettura della 'istantaneità efficiente', più diretta, interattiva e responsiva, più sinergica ed empatica, collegata a una architettura del 'momento' piuttosto che del 'monumento', in cui naturale e tecnologico, qualitativo e spontaneo, fisico e digitale, si combinerebbero in modo preciso ed economico, al di là di pregiudizi semantici o di filtri estetici o stilistici (Amann y Alcocer and Delso Gutiérrez, 2016).

L'emergere di questo nuovo tipo di sensibilità collettiva e connettiva, responsabile e responsiva, segna l'interesse di molte ricerche emergenti, attraverso la riconquista (attiva e attivista) di uno spazio pubblico, relazionale e conviviale, inteso come paesaggio-dispositivo e paesaggio-performativo allo stesso tempo. Uno scenario multi-relazionale (sociale, spaziale, ambientale) volto a produrre nuove nature para-artificiali e nuovi artifici para-naturali, più eco-efficienti e socio-coINVOLGENTI, attraverso una forma d'interazione sensibile generata a tutti i livelli (fisici e virtuali, materiali e immateriali) e tempistiche, più o meno permanenti o effimere. Il concetto stesso di 'interazione olistica', come scambio positivo tra luogo e ambiente, società e informazione, assume logicamente, in queste dinamiche, un'importanza decisiva, non solo come responsabilità etica (socioculturale e socioeconomica), ma anche come conseguenza del cambiamento dei paradigmi attuali (Ricci, 2012).

Le ricerche in corso tendono ad approfondire, sempre più, i comportamenti socio-tecnologico, materiali e digitali (bio-tecnologie, biomateriali, nano-tecnologie, intelligenza artificiale, robotica, ecc.) e, in particolare, le relazioni tra Materia



**Fig. 4** | Network-City (2000-2010), developments interwoven through networks, belts and green fingers: Gran Milano, Green Belt & Green Fingers, 2010; BCN Land Grid (2000) and BCN Master Green Plan for the Metropolitan Area (2012) based on the proposed front by Actar Arquitectura; Catalunya Land-Grid (2003); Mesh City (1992) by W. J. Neutelings (source: Gausa and Vivaldi, 2021; credits: Actar/Neutelings, 2021)

**Fig. 5** | Barcelona Multi-String Central Park (2012) by Actar Arquitectura: a strategy of reclaiming driveways through limited mobility and green density, based on Super-Blocks (credit: BCN Agencia de Ecología Urbana).

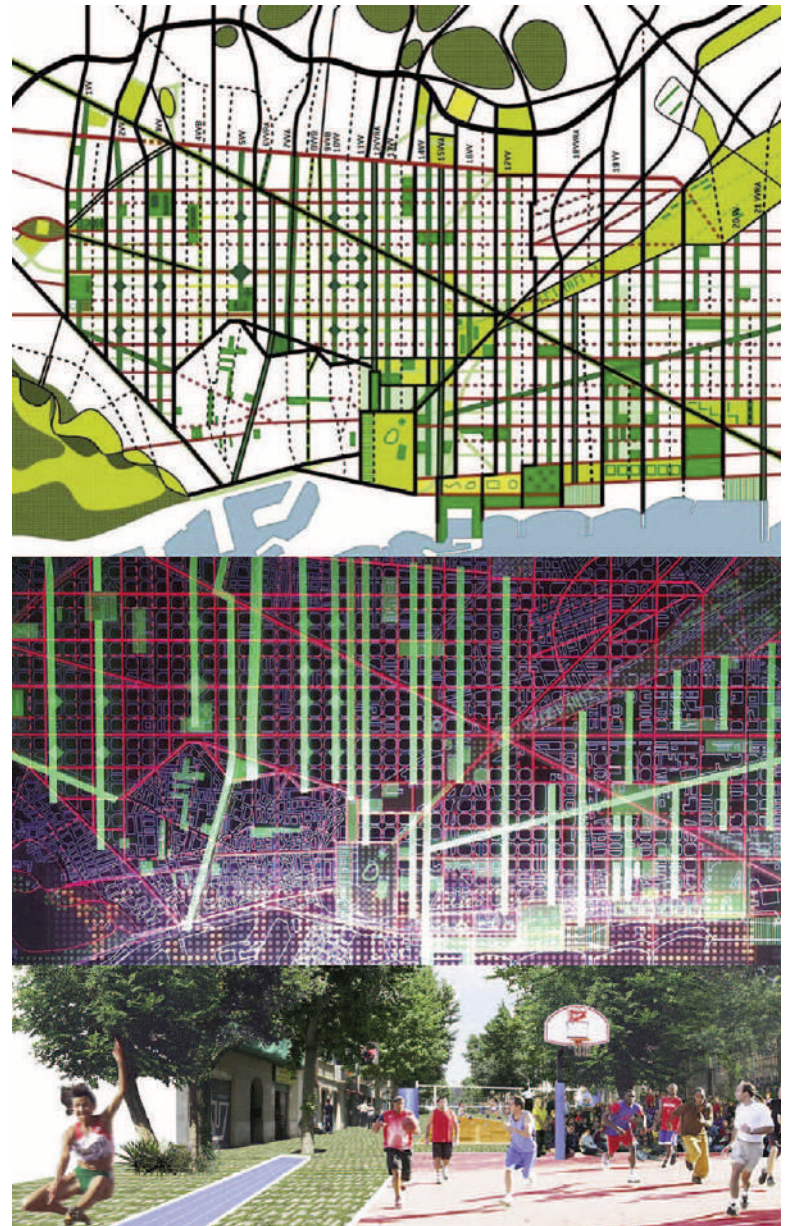




Fig. 6 | Agropolis (2009) in Munich by J. Schroeder, T. Baldauf, M. Deerenberg, F. Otto and K. Weigert (credit: J. Schroeder, 2009).

Fig. 7 | Baumax Center (1998) in Maribor by njiric & njiric: Green and Landscape Refolding Concept Diagram (source: Quaderns d'Arquitectura I Urbanisme, 1998).



(reattiva) e Spazio (riattivato) e tra Ambiente (attivato) e Agenti (attivatori e attuatori), potenzialmente 'combinati' in azioni o proiezioni progressivamente co-generate (condivise, co-prodotte, co-partecipate, co-decise, ecc.) attraverso nuovi processi 'co(l)l(nn)rr)ettivi' (Leach, 2014; Ratti and Claudel, 2016; Gausa and Vivaldi, 2021). Agenti e Materie, Spazi e Ambienti suggeriscono nuove sfide legate allo sviluppo dei dispositivi di 'interfaccia', gradualmente integrati nei nostri corpi (protesi sincronizzate, tatuaggi digitali, sensori incorporati, bio-pelle, ecc.) e nei nostri spazi, realizzando un nuovo tipo di interazione olistica in rete (più iper-connessa e iper-connettiva) che generano scenari e paesaggi inter-relazionali, super-relazionali e sopra-relazionali (Gehl, 2010; D'Arienzo and Younès, 2018).

Risulta interessante notare come l'avvio dell'era digitale/informazionale negli anni '90 – coincidente con lo svolgimento del First Rio Summit (1992) – abbia contribuito a sensibilizzare la coscienza globale sulle questioni ambientali, stimolando un nuovo pensiero interattivo, e dunque eco-relazionale (WCED, 1987; Braungart and Mac Donough, 2002). L'irrompere, al volgere del secolo, di una nuova logica sostanzialmente digitale, destinata a moltiplicare le interazioni informazionali, ha favorito l'esplorazione di combinazioni ibride tra programmi, topologie e tipologie e oggi, grazie al progresso tecnologico e scientifico, tra metabolismi e organismi bioattivi. Microrganismi inseriti nella materia, batteri ed energia legati all'edilizia, nanotecnologia applicata alla costruzione e colture spaziali in-door e grown-up costituiscono alcuni dei temi di ricerca attualmente in corso. In questa logica progressiva di incrocio e scambio, l'architettura si formula sempre più come un dispositivo vivo ed evolutivo, ambivalentemente 'naturartificiale', in una situazione che spinge all'estremo i paesaggi topologici degli anni Novanta e li espande verso nuovi metabolismi non solo ibridi, ma anche mutanti e mutabili, nei quali il verde vegetale, il grigio minerale e il (multi)cromatismo plastico e sintetico si dissolvono e si mescolano allo stesso tempo in un nuovo tipo di ecologie più oscure e grigie o Dark Ecologies (Morton, 2007).

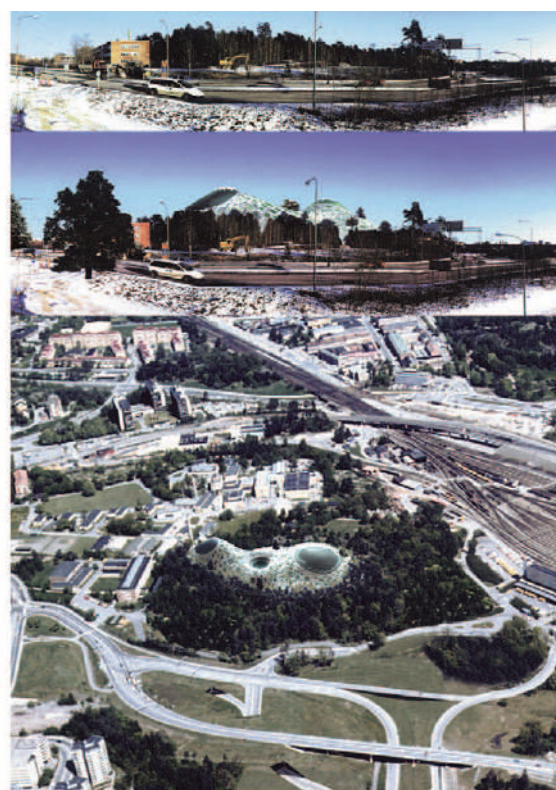
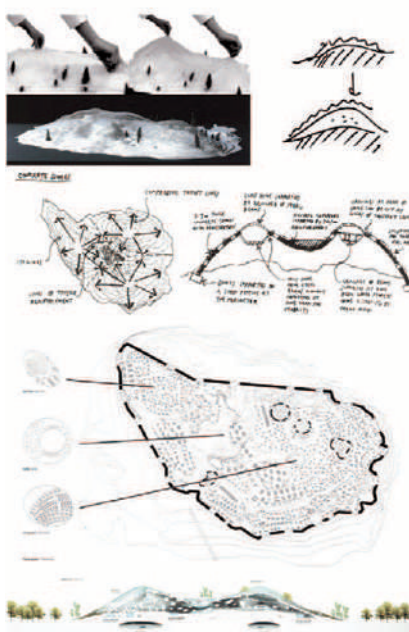


Fig. 8 | Operational Topographies: Urban Geo-Landscapes (2003) by Vicente Guallart; New formats of urban and territorial Living-Lands (2003) by Actar Arquitectura (credits: HyperCatalunya Project, 2003).

Fig. 9 | Topomorphies, programmatic reliefs and green roofs: The Silicone Hill (2000) in Stockholm by MVRDV (credit: Actar/MVRDV, 2018).

Esplorazioni verdi-grigie, infilate o incastrate, in – e intorno a – strutture pensili, si ritrovano nelle nuove bio-geometrie energeticamente generative di Marcos Cruz, nelle installazioni evolutive e micro-organiche di Nery Oxman, nei prototipi viventi di Poletto-Paschero, nelle piantagioni di ‘atmosfera nano-sensoriali’ di Philip Rahm o Terreform, nelle esplorazioni con materiali adattativi di Areti Markopoulou/IAAC e di Achim Menges (University of Stuttgart), nelle conformazioni di generazione biologico-robotica di Mette Ramsgard Thomsem (CITA) o ancora nella sperimentazione di struttura, pelle e materia organica derivata dai rifiuti alimentari attuata nel progetto Creative Food Cycles (CFC) da IAAC, LUH e UniGe (Pericu et alii, 2021), rappresentano importanti ‘esperienze pilota’ (proiezione esogene) aperte all’uso, alla modifica, all’adattamento, nonché alla mutazione e all’evoluzione, sia materiale che formale (Figg. 20-22).

Più che di iper-oggetti provocativi dovremmo quindi parlare di proto-ambienti reattivi, decisamente tesi ad agire e reagire e, quindi, a contaminarsi nella realtà stessa. È curioso osservare come, in contrasto con le risposte astratte, minimaliste e severe del Dirty Realism degli anni ‘80 (la sublimazione quasi astratta di una realtà carente), le nuove Dirty Ecologies sembrano tradurre l’impeto dinamico, profuso, spesso esuberante (quasi prolisso) della logica digitale e materiale, fisica e virtuale, chiamata a celebrare l’energia vitale e interattiva di un’epoca decisamente informazionale/relazionale (Fig. 23), un’energia capace di generare, da un lato nuove esperienze e spazialità più efficienti (eco-ottimizzate e tecnomediate) tra habitat e ambienti, dall’altro risposte meno rigide e severe poiché lo scopo non è continuare a creare ‘volumi puri sotto la luce ma paesaggi misti sotto il cielo’ (Gausa, 2018a).

Often the aphorism ‘when a building is ugly, just cover it with green’ is quoted and attributed to Le Corbusier. In reality, there is no trace of such a phrase uttered by Le Corbusier himself, but rather something very different where the architect argued that the materials of town planning were sun, trees, sky, steel, and concrete, in this hierarchical order. According to George Bernard Shaw, this aphorism would rather be the work of his ironic talent, who provocatively wanted to point out how architects tend to hide their mistakes under the ivy, doctors under earth and cooks under mayonnaise (Fig. 1). Still, there is some historical disdain for a ‘green’ condition that is too close to the picturesqueness of gardening or classical landscaping, excessively vague, soft, organic or ‘superficial’ compared to the precise purism of a more disciplined city volume.

However, with the introduction of the new logic of complexity – associated with the digital age – the frontiers between dichotomous divisions and taxonomies (natural/artificial, architecture/landscape, vegetal/mineral, real/virtual, volume/surface, etc.) have rapidly blurred. On 25 February 1995, the results of the competition for the Yokohama Terminal, won by FOA (Zaera-Moussavi), were announced: although previous experiences of OMA, H2O, Roche & Sie, UnStudio or njiric & njiric (and of course mid-

20th century tasters such as those of Team Tean or the Oblique studio of Parent and Virilio) had experimented with solutions close to the programmatic manipulation of the land proposed in the project, rarely had it been so explicitly and programmatically expressive. The image of the new Terminal perfectly illustrated the desire for spatial mediation between matter, trajectory and flow through an operating system rather than an evocative form.

The concept of ‘ni-wa-minato’ – the slogan of the proposal – suggested an intermediate vocation between nature and the city and indicated the hybrid character (‘mix-set and mix-use’) of the proposed mechanism. The project envisaged a large folded and continuous surface, understood as a floating ground on a fluid space (water, sea): an artificial landscape on a natural landscape but also a technological infrastructure on a ‘technical ground’. A paradigmatic example where the roof of the building is terrain, which assumes a significant function as a node, crossroads and multi-scalar crossroads, but also as a ‘field’ of forces destined to shape, summarise and centre movements, exchanges and urban-landscape tensions expressly ‘trans-territorialised’. And on this mineralized metal space, one could already sense a latent ‘green’ that suggested its vocation as a new artificial ‘park-in’, in which one could guess the presence of possible surface vegetation, natural and or artificial (Fig. 2).

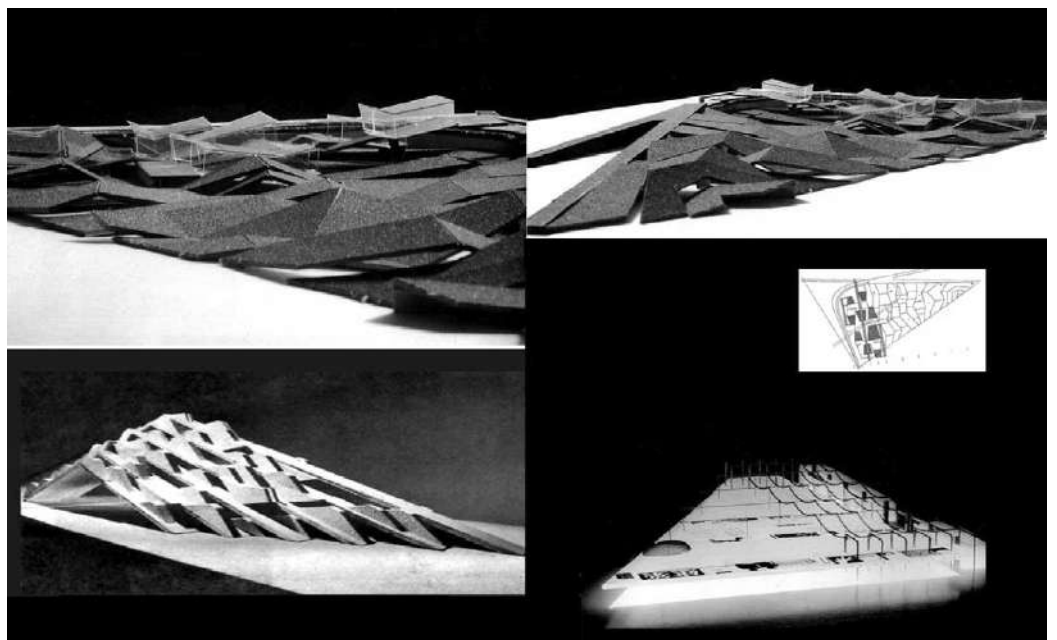
Like other innovative contemporary proposals, the FOA project represents a spectacular paradigm shift in defining this potential ‘architecture-infrastructure-landscape’ interaction. Carpets, waves, dunes, basins, furrows, trenches and platforms would respond to artificial configurations not very distant – in their spatial images – from the more natural ones, sliced or deformed, torn and/or lacerated; a digital logic capable of combining, simultaneously, multiple levels of interaction in progressively complex, dynamic and diverse relational scenarios.

The combination of Interaction + Information + Integration, ergo Innovation, is the theme of the greatest spatial-cultural revolution of our time, one that calls for a rethinking of established notions for the interpretation (and design) of space with respect to questions of order, form, arrangement, structure, geometry, representation and/or architectural language, all of which are less linear, imperative or deterministic because they are more heterogeneous, dynamic and complex. The concept of ‘nature’ becomes more and more hybrid, fluid, synthetic and/or biological, the one of ‘landscape’ becomes more programmatic in nature rather than secondary (no longer perceptual scenography but propositional, performative scenography), the concept of ‘city’ no longer as dense and built-up urban factory but as an environmental and meso-environmental system (‘un milieu entre milieux’) natural and artificial, multi-urban and territorial, architectural and landscape, infrastructural and eco-structural at the same time (D’Arienzo and Younés, 2018).

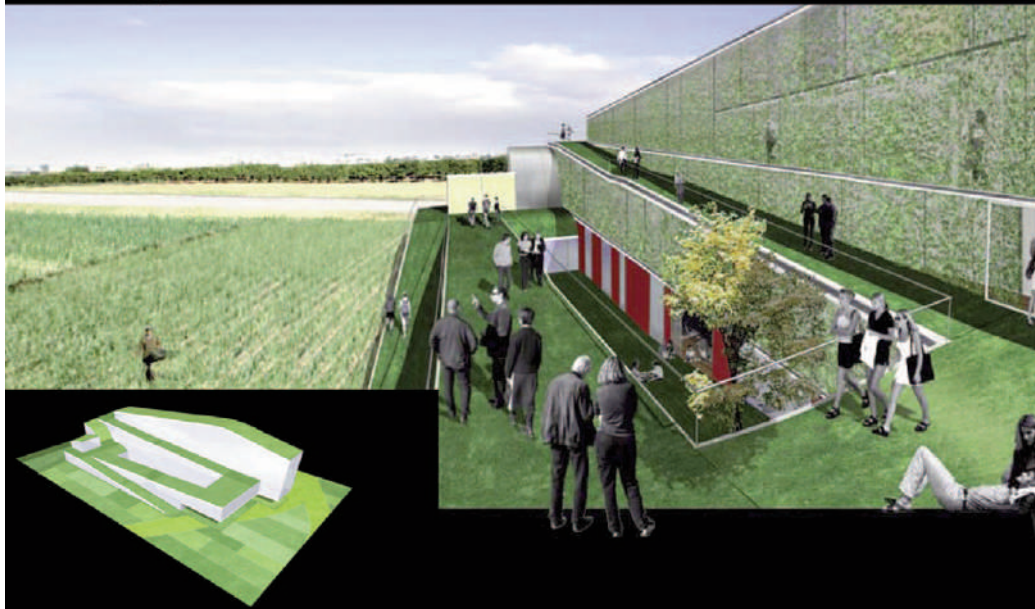
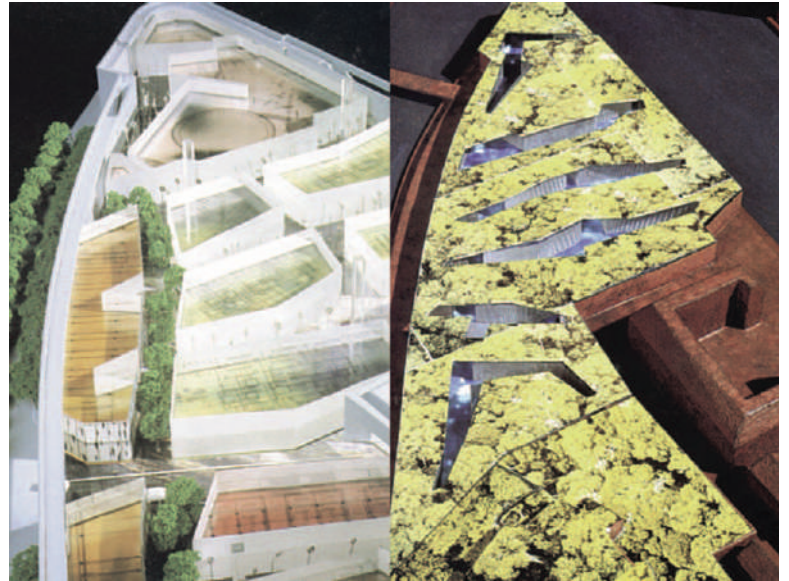
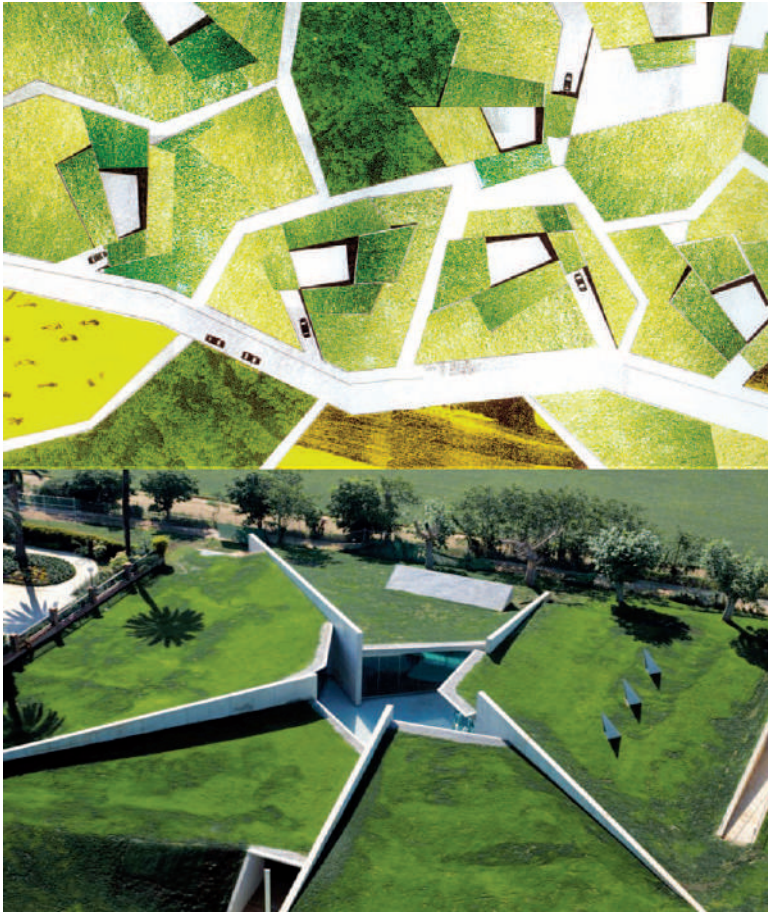
#### **A compact city, diffuse city, networked city: networked landscapes, urban recycling and interwoven-matrix**

The increasing acceleration of mobility, connectivity and exchange factors has made evident in recent decades the dynamic character of current urban systems and their new ‘geo-urban’ dimension. The ‘multi-city’ is a complex ‘poly-territory’ of rich relations, an exchange network aimed, in general, at the programmatic location, uses and functions, capable of fostering greater efficiency and profitability (both connective and economic) of activities, settlements and places, with the associated ecological costs in terms of consumption of energy, soil, materials, etc. (Harvey, 1985; Batty and Longley, 1994; Gausa, 2009, 2011; Rueda, 2011).

Settlement spaces, responsible for 40% of CO<sub>2</sub> emissions, tend to take shape with rhizomatic and fractal geometries, punctual and dense,



**Fig. 10** | Landforms, Operational Topographies, dense grounds: Topographical Overpas (1994) in Atlanta by Kelly Shannon; Modèle 1, Plans Inclinés (1970) by Claude Parent and Paul Virilio; Electronic Matting (1996) in Nara by Florian Beigel; Floor with hanging devices (credits: Actar, 2018).



**Fig. 11** | Operational Topographies, dense grounds: Maison Puzzle, Residential Prototype (1998) by Jacob-Macfarlane; Fitness Center Juan Carlos I (1996) in Barcelona by Carlos Ferrater-OAB.

**Fig. 12** | Operational Topographies, dense grounds: New Walloon Parliament (1995) in Namur by Francis Soler (source: Quaderns d'Arquitectura i Urbanisme, 1998).

**Fig. 13** | Operational Topographies, dense grounds: Cave Antinori (2013) by Archea.

**Fig. 14** | Operational Topographies, dense grounds: Lands-in-Land, Graz-Maribor Corridor (2000-2001) by Actar Arquitectura. Topomorphies, programmatic reliefs and green roofs: Living-Field, Sociopolis (2003) by Actar Arquitectura.

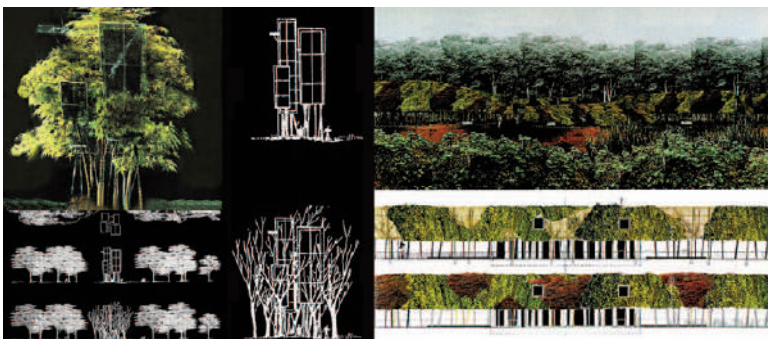
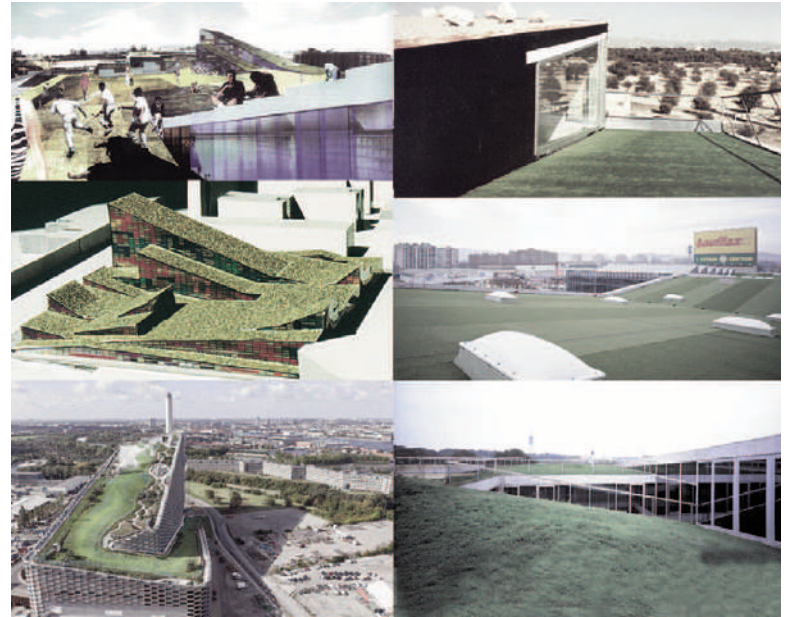
*Next page*

**Fig. 15** | Operational Topographies, active plateaux as virtual enclaves: New formats of urban and territorial Living-Lands (2003) by Actar Arquitectura (credit: Hyper-Catalunya Project, 2003).

**Fig. 16** | Topomorphies, programmatic reliefs and green roofs: Pamplona Auditorium (1998) by Eduardo Arroyo (NO. Mad Arquitectura); CopenHill waste treatment plan (2020) in Copenhagen by BIG; House on the City Limits (1995-96) in Valencia by Vicente Guallart; Baumax Shopping Center (1998) in Maribor by njiric & njiric; Villa VPRO (1993-1997) in Utrecht by MVRDV.

**Fig. 17** | Operational Topographies, dense grounds, integral green: Casa Verde (2008) in Madrid by Abalos-Herreros.

**Fig. 18** | Hybrid Landscapes, wooded enclaves: Maison sur les Arbres (1994) by François Roche & DSVE; Maisons rurales (1997) in Jupilles by Duncan Lewis (source: Quaderns d'Arquitectura i Urbanisme, 1997, 1999).



yet discontinuous and irregular. In the current 'glocal' sphere of dynamism, the supply of connective/corrective (resilient) spaces enhances voids in marginal and cleared areas (nature reserves, interstitial green spaces, agricultural areas and/or bioactive plateaus), that, in terms of emissions, is of crucial importance for the more sustainable development of a polycentric and 'dis-dense', i.e. discontinuously dense, territory.

Though the debate on sustainability and urban morphology traditionally feature the compact/diffuse dualism, current lines of research advocate a less dichotomous and monocentric definition of our habitats, promoting large intermediate and 'inter-mediation' (essentially green) spaces at all levels and scales (urban and territorial), in a systematic logic capable of establishing new multi- and inter-urban geographies: geo-urbanities, ensembles, networks, etc. New urban dynamism and their accelerated anthropic condition require, in fact, a new interconnected environmental systematics (Fig. 3), capable of stimulating not only an effective interaction between inter-and endo-urban 'factories' and 'landscapes', but also a new green, fluid and transversal structural dimension, aimed at fostering a fertile encounter between nature and city, eco-structure and infrastructure, technology, topography and topology, interweaving the territory, reform its very structural fabrics and above all 're-naturalising' its diverse and varied pre-existence (Gausa, 2018b; Schröder et alii, 2018).

The terms Land-Links, Land-Grids and Re-Citying related to the new dynamics of n-City (Carta, Lino and Ronsivalle, 2016; Gausa, 2014, 2018a; Gausa and Ricci, 2014) are helpful for defining possible integrative strategies to en-

sure global changes and more qualitative local developments, linked in order to the large (territorial) and intermediate (urban) scales through flexible structures and operational (interconnected) landscapes holistically linked through complex matrices in which urban, peri-urban and inter-urban 'green' (declined in all its different nuances, valences or gradients forest, shrub, agricultural, water, but also vegetable and mineral; Fig. 4) plays a fundamental, operational and proactive role (Nel.lo, 2001; Rueda, 2011; Waldheim, 2016).

Already at the European level, the incidence of carbon emissions of large urban-regional conurbations such as those of Grand Luxembourg (15.5 tCO<sub>2</sub>/inhab./year), the Dutch Randstad (8.5 tCO<sub>2</sub>/inhab./year), the Grand Paris/Île de France (5-6 tCO<sub>2</sub>/inhab./year), the Greater Milan in Italy (5 to 7 tCO<sub>2</sub>/inhab./year), the Metropolitan Areas of Barcelona and Madrid in Spain (5 to 6.5 tCO<sub>2</sub>/inhab./year) highlight the importance of this necessary connective/corrective factor in contemporary megacities, not only for healthy and sensory recreation but also for a positive interaction with and between environments and a new type of mixed programmatic coexistence (Nel.lo, 2001; Gausa, 2011; Llop, 2011; Rueda, 2011).

The eco-systemic dimension of the contemporary city requires that the natural (semi-)green 'belts and corridors' between the various existing urban contexts need a connection to enhance the urban and inter-urban landscape to strategically redefine mobility by creating new pedestrian and vegetal 'areas' that biodiversity. In this sense, the redevelopment of agricultural areas would play a significant role in fostering

new circular models (second life of materials, waste elimination, bioenergy, etc.) through innovative approaches and new tourist-recreational programmes (Sommariva, 2015; Tucci, 2020).

'Re-naturalisation' of (urban and inter-urban) landscapes could be implemented through eco-efficient, horizontal or vertical, carbon-absorbing envelopes. It involves enhancing urban diversity, improving the well-being of citizens, transforming old obsolete infrastructures into residences, industrial spaces, transport or logistics infrastructures, and developing new building repertoires and a new type of receptive and interactive public spaces (Fig. 5, 6). However, in many cases, one should speak of 'mixed landscapes' (multi-programmatic) for a projection rather than green areas – global and local – intended to connect places, environments and citizens.

#### Operational topographies: Lands-in-lands, Land-Arch

The digital world and information technologies have exponentially expanded the interaction between spaces and information, i.e. the ability to parameterise, (re)process and simulate possible scenarios through informational (tendential) mappings and relational (intentional) strategies for the city and the territories; they have thus, enabled condensing, vectorize and integrating (Fig. 7) levels of information and networks of spatial, social, functional and environmental relationships and connections (Lynn, 1997; Leach, 2014; Gausa, 2010, 2018a).

The transition from the idea of architectural design space understood as a formal object (essentially compositional) to an 'architectural-landscape' space (conceived as an information-



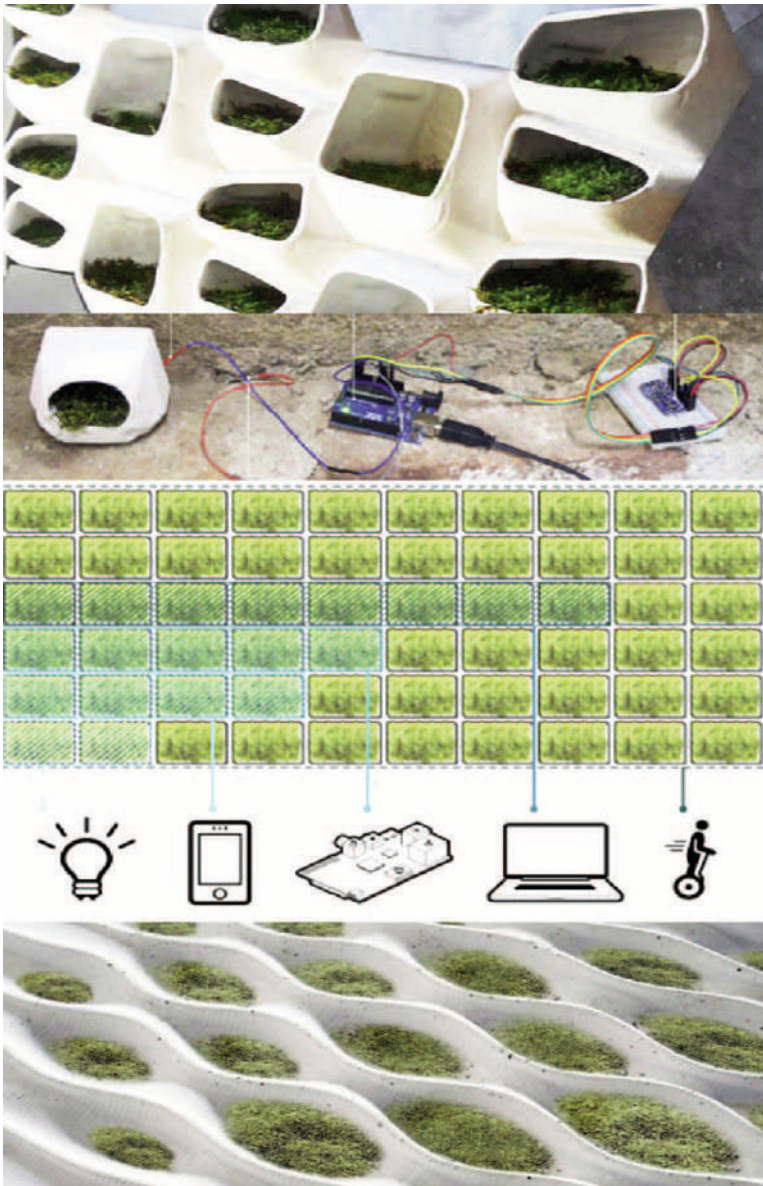
**Fig. 19** | Hybrid landscapes, green roofs and ver(t/d)icality: Vertical Parks (1993) by West 8; Bosco Verticale (2017) in Milan by Boeri & Associates; Biodiversity Tower (2019) in Madrid by Carlos Arroyo; Torre Huerta (2003), an antecedent of the Bosco Verticale in Valencia, Sociopolis, by MVRDV; Lego Tower (2003) in Copenhagen by BIG; Tours pour la Biodiversité, M6B2 (2018) and Tour des Fleurs (2004) in Paris by Edouard François.

al system/environment) promotes a new, technologically more advanced reading of the city-landscape and its interactive management, but also a fresh eco-sustainable sensibility in which built and green land can combine in new multifunctional and multidimensional relationships (Gausa and Vivaldi, 2021). The action design could consequently identify new strategies and eco-systemic structures between the city, architecture and landscape, but also new types of spatial repertoires with more complex geometries in relation to the dynamics of a changing environment and its multi-scalar manifestations, new 'fields' for variable and responsive forces, new topographies, topologies and topomorphies (and even para-topologies) that are more hybrid because, in a paradoxical way, more sensitive to nature (Fig. 8, 9). New spatial logics, indeed, to set up green permeable structures that promote a holistic and transversal approach between urban, territorial and environmental situations, conditions and definitions, highlighting a transition from resistant or defensive ecology to a proactive ecology and even more techno-performative.

An 'architecture-landscape' is a new 'operational topos' (an n-dimensional topography-topomorphy in its reliefs and a multifunctional 'topology' in its geometry, plastic and diverse) reacting and 'making react' to the emerging information conditions of our time. In this context, urban and environmental, physical and digital, the term 'landscape' (understood not only as an open, predominantly green space but as a relational scenario, an active and responsive surface) and its relevance in the recent disciplinary background comes to the fore far beyond traditional 'gardening'. Hence, it is a question of accepting that 'the landscape – and its various spatial declinations – is not just a 'category' or a 'topic' but constitutes an authentic structuring 'potential' in the new city. Architecture and landscape, landscape and architecture, would confirm new hybrid contracts with nature through two categories that for a long time were extraneous and are now in synergy (Gausa, 1997, 2010, 2018a).

**Soil and topomorphic reliefs** | In exploring this new kind of operational topography, we first chose to examine the capacity of the soil itself, its consistency and elasticity through a possible 'architecture of horizontality' (Beigel 1997; Betsky, 2002; Gausa, 2010, 2018a; Waldheim, 2016). Projects such as the Solenoides by FOA-Zaera-Moussavi (Yokohama, 1996; Seoul Myeong-Dong, 1995), the Simulated Topographies and other experiments by Kelly Shannon between 1993 and 1994 (Shannon, 2000) could associate with the Landspaces by Florian Beigel (Beigel, 1997) referring to a 'raking' of the soil covered with spots or large green layers (Fig. 10).

Of the early works of Francois Roche & DSV & SIE, hinging on the dynamics of 'pinching' the soil (in the form of more or less evident mounds), we recall the trenches of Francis Soler for the Walloon Parliament (Namur, 1995) or those of njiric & njiric (Folding-Atom Heart, Glasgow, 1996) or other resonant projects such as the Puzzle proposal (Jacob-MacFarlane, 1998) similar to the Fitness Center Juan Carlos I (OAB-Carles



**Fig. 20** | Green in ver(t)dical smart ceramic walls integrating shrub bio-elements digitally controlled and generators of food and energy (IaaC-OTF-2014 by E. Mitrofanova; Faculty: Brandi, Dubor, Fraguada, Bombelli-University of Cambridge, Cumella Ceramica); Similar prototype by Richard Beckett, Bartlett School, 2015.

**Fig. 21** | Dark-Ecologies, Matters & Agents, Performative Landscapes: Alga(e)zebo (2010) by Marcos Cruz and Marjan Colletti, algae-based light installation Euston Square Gardens (London); Jade Park (2011-2016) in Taichung by Philippe Rahm and Catherine Mosbach; General views and various details of the devices generating different atmospheres based on humid micro-particles and energy.

**Fig. 22** | Dark-Ecologies, Matters & Agents, Performative Landscapes: Prototypes of deck elements with integrated bio-organisms (2018-2019) by Marcos Cruz and IAAC; H.O.R.T.U.S. installation (2019) in Centre Pompidou by ecoLogicStudio (Poletto-Pasquero).





**Fig. 19** | New interconnected physical and digital natures, natural environments and virtual big data in interaction: Trope, From Natural to Directed (IAAC 2014-2015) by S. Giannakopoulos, S. Levidis, N. Marini and G. Soutos.

Ferrater, 1996) or the more recent and well-known Seoul EWha University (Dominique Perrault, 2008) and Cantina Antinori (Archea, 2013), where the green surface overlaps, bows, curves or glides in a similar way to the paradigmatic Operative Topographies (2001-2003), anticipated by Actar Arquitectura in the Living-Fields proposed for the Sociopolis project (Valencia, 2005) or for the Meseta-ElEm(m)ental system of 2006 (Fig. 11-14).

Folds, ridges, peaks, mounds, rises and extrusions, as well as plantations, vegetation coverings or true camouflages, compose a vocabulary oscillating between the geometric, the geological and the geographic, which makes it possible to summarise programmes, situations and environments into trajectories of essentially geomorphological configuration (Guallart, 2009): the various prototypes for the Auditorium in Pamplona by Eduardo Arroyo, the Geofoms by Vicente Guallart – from his Casa en el Límite de la Ciudad (1995) to the Casa de Los Siete Picos (1998) to the structures in Denia (2000) and HiperCat (2003) – are interpretable examples as folded multi-levels, moving toward a variable, substantially green, walkable and eco-efficient roof (Fig. 15, 16). Many of these pioneering investigations could compare with other paradigmatic cases such as the various ‘enclaves’ ambushed (Fig. 17, 18) by François Roche & DSVE (Maison sur les Arbres, 1994), Duncan Lewis (Pavillon sur l’Eau, 1995; Maisons Rurales, Jupilles, 1997) or Abalos-Herreros for his Casa Verde in Madrid.

Several collective housing projects, between 1998 and 2018 by Edouard François (Block that Grows, Montpellier, Flower Tower, M6B2 Tower of Biodiversity), would be conceived with similar premises in height. The vertical forest by Stefano

Boeri (Milan, 2017), the Torre Huerta by MVRDV (an agro-vegetable tower intended as a vertical derivation of the Wozooko project for the Sociopolis neighbourhood in Valencia, 2003) or the Tour des Fleurs by Edouard François (Paris, 2004) would, in this sense, constitute a new kind of a-typological (or anti-typological) ver(d)tical approaches (Fig. 19).

Some other Folding-pilling proposals of the same MVRDV studio, like the VPRO Villa (Utrecht, 1993-1997), The Silicone Hill (Stockholm, 2000) or the Piled-up Nature Pavilion at the Hannover 2000 exhibition anticipate important BIG projects such as the Mountain Dwellings (Copenhagen, 2003), the Lego Towers (Copenhagen, 2007) or the Inside Copenhill (2019), where ‘vertically’ tectonics and ‘diagonally’ topology are combined and mixed.

The ‘naturartificial’ and verdivalent conditions are common to all these projects conceived, on the one hand as topological movements of informational flow, on the other as geomorphic or geomorphological changes of spatial and functional folds, movements summarized in a new type of condensed landscapes, multi-programmatic in which the efficacy of architecture does not reside in the figurative instance of the object but in the capacity to propose a new type of abstract topos capable of responding to the complex, mutable, combinatorial, flexible, hybrid and irregular nature of dynamic geo-urban systems (Guallart, 2009; Gausa, 2009); experimentation with form, but also confidence in a new ‘natural contract’ in our living contexts, in which the complicit aspect of an architecture in tune with the landscape (rather than integrated into it) would reside precisely in its ability to incorporate surprising and unusual plastic solutions, stimulated by the possibility of embedding nature, enhancing it, refor-

mulating it, enriching it rather than ‘preserving’ it.

**Responsive Landscapes, performative Landscapes: Bold Ecologies, Dirty Ecologies** | The early pioneering, multi-scalar (or a-scalar) experiments of the 1990s, linked to an architecture of ‘multi-typological simultaneity’ and ‘multi-programmatic fluctuation’, have given way to an architecture of ‘efficient instantaneity’, more direct, interactive and responsive, more synergic and empathic, connected to an architecture of the ‘moment’ rather than the ‘monument’, in which natural and technological, qualitative and spontaneous, physical and digital, would combine in a precise and economical way, beyond semantic biases or aesthetic or stylistic filters (Amann y Alcocer and Delso Gutiérrez, 2016).

The rise of this new type of collective and connective, responsible and responsive sensibility marks the interest of many emerging studies through the (active and activist) reconquest of a public, relational and social space, understood as a landscape-dispositive and landscape-performative at the same time. A multi-relational scenario (social, spatial, environmental) aimed at producing new para-artificial natures and new para-natural artifices, more eco-efficient and socio-involving, through a form of sensitive interaction generated at all levels (physical and virtual, material and immaterial) and times, more or less permanent or fleeting. The concept of ‘holistic interaction’ itself, as a positive exchange between place and environment, society and information, logically assumes decisive importance in these dynamics, not only as an ethical (socio-cultural and socio-economic) responsibility but also as a consequence of the change in current paradigms (Ricci, 2012).

Current research tends to increasingly investigate socio-techno-ecological (bio-technologies, biomaterials, nanotechnologies, artificial intelligence, robotics, etc.) and, in particular, the relationships between Matter (reactive), Space (reactivated), Landscape (activated) and Agents (activators and actuators), potentially ‘combined’ in actions or projections progressively co-generated (shared, co-produced, co-participated, co-decided, etc.) through new ‘co(II/nr/r)active’ processes (Leach, 2014; Ratti and Claudel, 2016; Gausa and Vivaldi, 2021). Agents, Matters, Spaces and Environments suggest new challenges connected to the development of ‘interface’ devices, which are gradually integrated in our bodies (synchronic prosthetics, digital tattoos, embedded sensors, bio-skins, etc.) and in our spaces, achieving a new type of holistic networked interaction (more hyper-connected and hyper-connective) that generate inter-relational, super-relational and supra-relational scenarios and landscapes (Gehl, 2010; D’Arienzo and Younès, 2018).

It is interesting to note how the onset of the digital/informational age in the 1990s – coinciding with the holding of the First Rio Summit (1992) – contributed to raising global awareness of environmental issues, stimulating a new interactive, and thus eco-relational, thinking (WCED, 1987; Braungart and Mac Donough, 2002). The advent, around the turn of the century, into a new, digital approach, meant to multiply information-

al interactions, favoured the exploration of hybrid combinations between programmes, topologies and typologies, and today, thanks to technological and scientific progress, between metabolisms and bioactive organisms. Microorganisms in the matters, building-related bacteria, energy, and nanotechnology applied to construction in-door and grown-up space cultures are some of the research topics currently underway. Architecture, with its principle of intersection and exchange, becomes a living, evolving, ambivalently 'naturartificial' device, which takes the topological landscapes of the 1990s to the extreme and expands them towards new metabolisms, hybrid but also mutant and mutable. The green of plants, the grey of minerals, plastic and synthetic (multi)chromatism dissolve and mix simultaneously into new kinds of darker, greyer ecologies or Dark Ecologies (Morton, 2007).

Green-grey explorations, in – and around – hanging structures, are in the new energetically generative bio-geometries of Marcos Cruz, in the

evolutionary and micro-organic installations of Nery Oxman, in the living prototypes of Poletto-Paschero. Also in the plantations of 'nano-sensory atmospheres' by Philip Rahm or Terreform, in the explorations with adaptive materials by Areti Markopoulou/IAAC and Achim Menges (University of Stuttgart), in the conformations of biological-robotic generation by Mette Ramsgard Thomsem (CITA), in the experimentation of structure skin and organic matter of food waste in the Creative Food Cycles (CFC) project by IAAC, LUH and UniGe (Pericu et alii, 2021), and represent significant 'pilot experiences' (exogenous projection) open to use, modification, adaptation, as well as mutation and evolution, both material and formal (Figg. 20-22).

Rather than provocative hyper-objects, we should speak of reactive proto-environments, decisively tending to act and react and contaminate reality itself. It is curious to observe how, in contrast to the abstract, minimalist and severe responses of the Dirty Realism of the 1980s (the almost abstract sublimation of a deficient reali-

ty), the new Dirty Ecologies seem to translate the dynamic, profuse, often exuberant (almost verbose) impetus of digital and material, physical and virtual logic, called upon to celebrate the vital and interactive energy of a decidedly informational/relational age (Fig. 23), which is capable of generating, on the one hand, new experiences and more efficient (eco-targeted and techno-mediated) spatialities between habitats and environments, and on the other hand, less rigid and severe responses since the aim are not to continue creating 'pure volumes under the light but mixed landscapes under the sky' (Gausa, 2018a).

## References

- Amann y Alcocer, A. and Delso Gutiérrez, R. (2016), "The conflict of Urban Synchronicity and its Heterotemporalities – Asynchronous Citizenship", in *Parse Journal*, vol. 4, pp. 92-107. [Online] Available at: [parsejournal.com/wp-content/uploads/2016/09/PARSE\\_Issue4-TheConflictOfUrbanSynchronicityAndItsHeterotemporalities.pdf](http://parsejournal.com/wp-content/uploads/2016/09/PARSE_Issue4-TheConflictOfUrbanSynchronicityAndItsHeterotemporalities.pdf) [Accessed 18 April 2022].
- Batty, M. and Longley, P. (1994), *Fractal Cities – A geometry of form and function*, Academic Press, San Diego. [Online] Available at: [researchgate.net/publication/30867789\\_Fractal\\_Cities\\_-\\_A\\_Geometry\\_of\\_Form\\_and\\_Function](http://researchgate.net/publication/30867789_Fractal_Cities_-_A_Geometry_of_Form_and_Function) [Accessed 18 April 2022].
- Beigel, F. (1997), "Paisatges urbans", in *Quaderns d'Arquitectura i Urbanisme*, vol. 216, pp. 34-43. [Online] Available at: [dialnet.unirioja.es/ejemplar/539322](http://dialnet.unirioja.es/ejemplar/539322) [Accessed 18 April 2022].
- Betsky, A. (2002), *Landscapers – Building with the Land*, Thames & Hudson, London.
- Braungart, M. and Mac Donough, W. (2002), *Cradle to Cradle – Remaking the Way We Make Things*, North Point Press, New York.
- Carta, M., Lino, B. and Ronsivalle, D. (2016), *Re-Cyclical Urbanism – Visioni, paradigmi e progetti per la metamorfosi circolare*, List Lab, Trento.
- D'Arienzo, R. and Younès, C. (eds) (2018), *Synergies Urbaines – Pour un métabolisme collectif des villes*, Métiss Press, Paris.
- Gausa, M. (2018a), *Open(ing), Space-Time-Information & Advanced Architecture 1900-2000 – The Beginning of Advanced Architecture*, Actar Publishers, New York.
- Gausa, M. (2018b), "Periphery-Peripherals, 1980-2015 – From the Postmodern Era to the Information Era", in Schröder, J., Carta, M., Ferretti, M. and Lino, B. (eds), *Dynamics of Periphery – Atlas for a Creative Resilient Habitats*, Jovis, Berlin, pp. 62-75.
- Gausa, M. (2014), "Generazione in rete – Land-Links & Re-Citying – Verso una nuova geourbanità", in Gausa, M. and Ricci, M. (eds), *AUM 01 – Atlante Urbano Mediterraneo*, ListLab, Trento, pp. 36-61.
- Gausa, M. (ed.) (2011), *Cap a un Habitat(ge) sostenible*, Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya (CADS), Generalitat de Catalunya, Barcelona.
- Gausa, M. (2010), *Open – Espacio, tiempo, información – Arquitectura, vivienda y ciudad contemporánea – Teoría e historia de un cambio*, Actar Publishers, Barcelona. [Online] Available at: [issuu.com/actar/docs/open](http://issuu.com/actar/docs/open) [Accessed 18 April 2022].
- Gausa, M. (2009), *Multi-Barcelona, Hiper-Catalunya – Estrategias para una nueva Geo-Urbanidad*, ListLab, Trento.
- Gausa, M. (1997), "Land-Arch, paisatge i arquitectura, nous esqueixos", in *Quaderns d'Arquitectura i Urbanisme*, vol. 217, pp. 50-53. [Online] Available at: [dialnet.unirioja.es/ejemplar/539504](http://dialnet.unirioja.es/ejemplar/539504) [Accessed 17 April 2022].
- Gausa, M. and Ricci, M. (2014), *AUM 01 – Atlante Urbano Mediterraneo*, ListLab, Trento.
- Gausa, M. and Vivaldi, J. (2021), *The Threefold logic of Advanced Architecture – Conformative, Distributive and Expansive Protocols for an Informational Practice 1990-2020*, Actar Publishers, New York. [Online] Available at: [actar.com/product/the\\_threefold\\_logic\\_of\\_advanced\\_architecture/](http://actar.com/product/the_threefold_logic_of_advanced_architecture/) [Accessed 16 April 2022].
- Gehl, J. (2010), *Cities for People*, Island Press, Washington D.C.
- Guallart, V. (2009), *Geologies – Geography Information Architecture*, Actar, Barcelona. [Online] Available at: [issuu.com/actar/docs/geologies](http://issuu.com/actar/docs/geologies) [Accessed 19 April 2022].
- Harvey, D. (1985), *The Urbanisation of Capital*, Johns Hopkins University Press, Baltimore. [Online] Available at: [escholarship.org/uc/item/5cf6w44q](http://escholarship.org/uc/item/5cf6w44q) [Accessed 19 April 2022].
- Leach, N. (2014), "Adaptation", in *IaaC bits*, vol. 1.4.1, pp. 2-15. [Online] Available at: [issuu.com/iaacbits/docs/\\_1.4.1.neil\\_leach](http://issuu.com/iaacbits/docs/_1.4.1.neil_leach) [Accessed 18 April 2022].
- Llop, C. (2011), "De les solucions habitacionals a la construcció social de l'habitat – Del dret a l'habitatge al dret al plaer d'habitar!", in Gausa, M. (ed.), *Cap a un Habitat(ge) sostenible*, Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya (CADS), Generalitat de Catalunya, Barcelona, pp. 113-116.
- Lynn, G. (1997), *Animate Form*, Princeton Architectural Press, New York.
- Morton, T. (2007), *Dark Ecology – For a Logic of Future Coexistence*, Columbia University Press, New York.
- Nel.lo, O. (2001), *Ciutat de ciutats – Reflexions sobre el procés d'urbanització a Catalunya*, Empuries, Barcelona.
- Pericu, S., Gausa, M., Ronco Milanaccio, A. and Tucci, G. (eds) (2021), *Creative Food Cycles Experience*, GUP, Genova.
- Ratti, C. and Claudel, M. (2016), *The City of Tomorrow – Sensors, Networks, Hackers, and the Future of Urban Life*, Yale University Press, New Haven.
- Ricci, M. (2012), *Nuovi Paradigmi*, ListLab, Trento.
- Rueda, S. (2011), "Models d'ordenació del territori més sostenibles (o un nou urbanisme per a abordar els reptes de la societat actual)", in Gausa, M. (ed.), *Cap a un Habitat(ge) sostenible*, Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya (CADS), Generalitat de Catalunya, Barcelona, pp. 31-40.
- Schröder, J., Carta, M., Ferretti, M. and Lino, B. (eds) (2018), *Dynamics of Periphery – Atlas for a Creative Resilient Habitats*, Jovis, Berlin.
- Shannon, K. (2000), "Simulated Topography and topographical overpass", in *Quaderns d'Arquitectura i Urbanisme*, vol. 220, pp. 48-51.
- Sommariva, E. (2015), *Cr(eat)ing City – Agricultura urbana – Strategie per la città resiliente*, ListLab, Trento.
- Tucci, G. (2020), *MedCoast Agrocities – New operational strategies for the development of the Mediterranean agro-urban areas*, ListLab, Trento.
- Waldheim, C. (2016), *Landscape as Urbanism – A general Theory*, Princeton University Press, Princeton.
- WCED (1987), *Our Common Future – Report of the World Commission on Environment and Development*. [Online] Available at: [sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf](http://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf) [Accessed 18 April 2022].

## SIMBIOSI TRA VEGETAZIONE E COSTRUITO

### Un approccio olistico, sistemico e multilivello

## SYMBIOSIS OF GREENERY WITH BUILT FORM

### A holistic, systems, multi-level approach

Francesca Scalisi, David Ness

#### ABSTRACT

Il cambiamento climatico è un effetto dell'azione antropica la quale incide sull'equilibrio del Pianeta prevalentemente con la crescita continua delle città e con l'aumento dei consumi che a loro volta determinano un uso indiscriminato di risorse non rinnovabili. Una soluzione a questo problema è spesso individuata nell'impiego di 'soluzioni basate sulla natura', capaci di offrire numerosi vantaggi e servizi per l'uomo e per l'ecosistema purché il verde, di per sé ecologico, non venga mercificato riducendo di fatto biodiversità e aumentando livelli di inquinamento. Il presente contributo mette in discussione un modello di crescita 'illimitato' e alcuni usi della vegetazione nel costruito in favore di un approccio basato sulla 'sufficienza' e di buone pratiche e sperimentazioni olistiche e illuminanti improntate al design biofilico, supportate da tecnologie di frontiera, fondate su pratiche vernacolari e sviluppate con le comunità locali, capaci di allargare l'obiettivo e affrontare la sfida climatica in un contesto più ampio e a diverse scale.

Climate change is an effect of human action. It affects the balance of the planet mainly because of the ongoing growth of cities and increased consumption, which leads to the indiscriminate use of non-renewable resources. One solution for this problem is often the use of 'nature-based solutions'. They can offer many advantages and services for humans and the ecosystem, as long as greenery – ecological per se – is not commoditised, effectively reducing biodiversity and increasing pollution levels. This paper questions the 'unlimited' growth model and some uses of greenery in the built form in favour of an approach based on 'sufficiency'. Holistic and illuminating good practices and experiments in biophilic design, supported by frontier technologies, based on vernacular practices and in collaboration with local communities, are capable of looking at the big picture and tackling the climate challenge in a wider context and at different scales.

#### KEYWORDS

soluzioni basate sulla natura, infrastrutture verdi, mitigazione, resilienza, sufficienza

nature-based solutions, green infrastructure, mitigation, resilience, sufficiency

**Francesca Scalisi**, Architect and PhD, is the Research Manager at the Research Department of DEMETRA Ce.Ri.Med. (Euro-Mediterranean Documentation and Research Center), Palermo, Italy. Her research areas concern the sustainability of the built environment for energy conservation of buildings, green materials, and nanotechnologies. E-mail: demetracerimed.scalisi@gmail.com

**David Ness**, Architect and PhD, is an Adjunct Professor within UniSA STEM at the University of South Australia. He investigates ways of delivering more services with less resource consumption, carbon, and cost. David was awarded the ARUP Global Research Challenge 2017 to adapt the circular economy to the built environment. He has advised UN ESCAP and UN-Habitat on 'green growth' and eco-efficient and inclusive infrastructure. E-mail: david.ness@unisa.edu.au

Le Nazioni Unite (UN, 2022) hanno descritto gli ampi insediamenti urbani che contribuiscono per il 60% al PIL globale come 'centrali della crescita economica', nonostante siano causa del 75% delle emissioni di gas serra e di oltre il 60% dell'uso delle risorse non rinnovabili; il crescente fenomeno dell'inurbamento e l'aumento sfrenato dei consumi incidono profondamente sull'equilibrio dell'intero ecosistema: si prevede che il mondo richiederà 230 miliardi di metri quadrati di nuove costruzioni entro il 2060, il che equivarrebbe ad aggiungere al pianeta una città come New York ogni 34 giorni (UN Environment and IEA, 2017), una previsione allarmante questa che minaccia la biodiversità e incide profondamente su cambiamento climatico e disuguaglianze sociali ed economiche. Un altro dato deve farci riflettere: il sesto Report di valutazione dell'IPCC (2022a) evidenzia che la quota delle emissioni di gas a effetto serra prodotta dagli agglomerati urbani è salita del 6% dal 2000 al 2015 con un aumento pro capite dell'11,8%, fenomeno principalmente dovuto alla continua crescita delle città del Nord del mondo che producono emissioni di gas serra pro capite 7 volte maggiori rispetto a quelle del Sud.

Nonostante siano considerate tra le principali cause del cambiamento climatico e ambientale, le città sono ironicamente viste come la soluzione attraverso l'impiego della vegetazione in edifici e infrastrutture verdi come se fossero il toccasana per la rigenerazione urbana e per creare città più sane e vivibili. Secondo Xing et alii (2017, p. 14), «[...] there is an instinctive bond between human beings and other living systems, which offers a powerful force to re-green our cities». A questo proposito è opinione consolidata che le 'soluzioni basate sulla natura' offrano molteplici vantaggi per l'uomo e gli ecosistemi, promuovendo al contempo «[...] a more resource-efficient, inclusive and sustainable growth model» (Favre et alii, 2017, p. 510). Una tale visione impone alcune riflessioni: in primo luogo è da chiedersi se, su scala macro, è possibile mettere in atto un modello di crescita 'limitato' prevedendo al contempo la realizzazione di alloggi, infrastrutture e servizi seppur con un'impronta sul suolo e sull'ambiente ridotta; poi, su scala meso o micro, se la vegetazione possa entrare in simbiosi con il costruito o sia semplicemente un elemento estetico e un attrattore, poiché spesso attraverso 'alberi-grattacielo', 'fattorie-grattacielo' ed edifici ricoperti in superficie da vegetazione, grandi città dei '10 minuti'<sup>1</sup> e dei '15 minuti' sono promosse come sostenibili, ecologiche, verdi e inclusive (Kohlstedt, 2016; Moreno, 2020).

In risposta alle suddette criticità il presente contributo adotta un approccio diverso rispetto alla letteratura e alla pratica corrente che tendono a considerare l'integrazione degli ambienti naturali e artificiali in modo ristretto e mira a dimostrare, attraverso una serie di casi studio e di buone pratiche, che si possono trovare soluzioni più olistiche e illuminanti allargando l'obiettivo ed esaminando la sfida in un contesto più ampio e a diverse scale.

**Stato dell'arte tra ricerca, programmi urbani e progetti sperimentali** | La letteratura scientifica concorda nell'attribuire alle 'infrastrutture verdi'

un ruolo primario per attuare strategie resilienti finalizzate al contrasto degli effetti dei cambiamenti climatici, ma al contempo ne riconosce l'importanza come soluzione per il raggiungimento di obiettivi molteplici tra cui la salvaguardia e la valorizzazione della biodiversità, il miglioramento della qualità della vita e del benessere della popolazione residente in ambito urbano, il consolidamento delle relazioni sociali e lo sviluppo economico (European Commission, 2014, 2019a, 2021a). La definizione promossa dalla European Commission (2013, p. 3) per la quale le 'infrastrutture verdi' sono da intendersi come «[...] a strategically planned network of natural and semi-natural areas with other environmental features designed and managed to deliver a wide range of ecosystem services» riflette il crescente interesse che a partire dal 2006 ha attirato settori scientifici disciplinari diversi – anche tradizionalmente lontani, in maggior misura in contesti climatici temperati o con precipitazione nevose quali Stati Uniti, Cina, Regno Unito, Italia, Australia, Germania, Svezia, Canada e Paesi Bassi (Ying et alii, 2021) – che hanno indagato prevalentemente le tematiche 'ambiente/ecologia', 'pianificazione/politica', 'sociale', 'salute/benessere', 'economia', 'qualità/prestazioni delle infrastrutture verdi', 'acque meteoriche/drenaggio', 'clima' e 'spazio aperto pubblico' (Parker and Zingoni de Baro, 2019).

Anche le diverse scale indagate nella letteratura scientifica contribuiscono a sancire il ruolo strategico che le 'infrastrutture verdi' possono svolgere nel raggiungimento di obiettivi multipli, soprattutto in contesti altamente urbanizzati: alla microscala (relativa a uno specifico sito) si indagano prevalentemente misure di gestione multifunzionali e sostenibili del ciclo idrologico finalizzate al controllo e al riutilizzo delle acque meteoriche ma anche misure per aumentare le superfici permeabili in ambito urbano, tetti e pareti verdi, orti urbani, rain gardens, wetlands, ecc. (Zhang and Chui, 2019); alla meso-scala l'attenzione è rivolta ai contesti urbani (sia zone centrali sia periferiche) e agli spazi pubblici per i servizi ecosistemici che possono produrre in termini di salute umana e ambiente, contrastando l'effetto isola di calore e l'inquinamento dell'aria, ma soprattutto valorizzando la biodiversità (Savas, 2016); alla macroscala l'indagine si estende a tutto il territorio inteso come 'rete ecosistemica diffusa' per garantire la salvaguardia degli habitat naturali e la diversità delle specie che lo popolano (Sheng et alii, 2019).

Sebbene la letteratura scientifica sul tema delle 'infrastrutture verdi' sia stata alquanto prolifica, soprattutto nell'ultimo decennio, le strategie e le misure pubblicate per il loro impiego non hanno trovato ancora larga diffusione, come confermato dal recente Rapporto dell'IPCC (2022b) intitolato *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability* che, analizzando tutti i settori produttivi, rileva come ad oggi i progressi realizzati siano poco rilevanti e le azioni intraprese non sufficienti. Eppure termini come 'green', 'sustainability', 'greenery' e 'greening' popolano le pagine del web (rispettivamente con 17,13 mld, 2 mld, 99,30 mln e 29,30 mln di pagine trovate tramite il browser Google nell'aprile del 2022) e sono ricorrenti nella nostra quotidianità. Se è anche possibile trovare buone pratiche, l'atten-

zione degli utenti verso il tema lo ha reso prevalentemente una mera strategia di marketing grazie alla quale i diversi settori produttivi mettono in atto quella pratica nota come 'greenwashing', ovvero fornendo informazioni false o incomplete per presentare il proprio brand o prodotto come 'ambientalmente responsabile' al fine di aumentare le vendite o la visibilità dell'azienda (de Freitas Netto et alii, 2020).

Anche il mondo delle costruzioni non è scervro da questa pratica 'irresponsabile' (Olson, 2021), così come i progetti di molte 'archistar' che spesso vengono assunti come modello e riferimento con la complicità di riviste e portali web, proponendo architetture audaci, futuristiche e con un'elegante 'vestito verde' per garantire il successo di un'opera, il cui design architettonico sembra essere la sola chiave per risolvere gli effetti del cambiamento climatico. Caso emblematico è l'Apple Park di Norman Foster, la nuova sede del colosso americano inaugurata a Cupertino nel 2017; la struttura ad anello, con un diametro di 1,6 Km, si sviluppa su sei livelli (due dei quali interrati destinati a parcheggio) e su una superficie di 260.000 metri quadrati calpestabili per accogliere circa 13.000 dipendenti. Apple e Foster non hanno mancato di promuovere la sostenibilità dell'insediamento mettendo in risalto l'impianto fotovoltaico di 17 MW, che garantisce l'autosufficienza energetica, e un parco interno con 9.000 alberi, elementi questi tuttavia non sufficienti a compensare (nonostante i 5 mld di euro spesi) l'impatto e l'occupazione di suolo generato dalle imponenti opere di urbanizzazione realizzate, prime fra tutte la nuova viabilità e i parcheggi esterni a raso, ma anche dalla urbanizzazione che si sta sviluppando attorno al 'disco volante'.

Ciononostante sono anche da segnalare non pochi progetti-azioni che, sia a scala urbana sia architettonica, dimostrano un'acquisita consapevolezza sull'importanza che la vegetazione può avere per la sostenibilità (nella sua triplice declinazione sociale, economica e ambientale) del costruito, permettendoci di immaginare ancora che il futuro del nostro pianeta possa essere più 'verde'. In ambito europeo, possono rappresentare delle buone pratiche i Piani del Verde<sup>2</sup> redatti da città come Valencia, Madrid, Amsterdam, Parigi ma quello di Barcellona può essere considerato emblematico per varietà di azioni e per estensione del territorio.

Il Barcelona Green Infrastructure and Biodiversity Plan 2020 è stato varato nel 2013 per contrastare la densificazione edilizia (e la relativa perdita di aree verdi nei quartieri), l'intenso traffico veicolare, l'inquinamento atmosferico, gli effetti dell'isola di calore e dei cambiamenti climatici. Con l'obiettivo di incrementare lo spazio verde di un metro quadro per abitante entro il 2030, il Piano contempla oltre 70 progetti e azioni finalizzate a fornire servizi ambientali e sociali, a introdurre la natura nella città, ad aumentare la biodiversità e la connettività tra le infrastrutture verdi frammentate e a rendere la città più resiliente (Ajuntament de Barcelona, 2013; IEEP, 2016), sperimentando una nuova politica per promuovere la creazione di spazi verdi urbani e di orti urbani nelle aree libere, attraverso il coinvolgimento della società civile. Il Piano indica come essenziale la creazione di corridoi verdi



Fig. 1 | Green corridor in Passeig de Sant Joan in Barcelona, part of ENABLE project (credit: ThinkNature Platform).

attrezzati che possano connettere le diverse aree verdi ma anche orti urbani e il verde privato che sono riconosciuti come un'importate componente dell'infrastruttura urbana; particolare attenzione è poi riservata alla zona costiera delle dune e alla foresta periurbana di Collserola per i delicati ecosistemi che ospitano, ma anche per l'impatto positivo che generano sul turismo e sull'economia locale.

Tra i punti di forza del Piano si segnalano il Master Plan degli Alberi da attuare con un budget di 9,4 milioni di euro all'anno e i Corridoi Verdi con una folta vegetazione (caratterizzata da specie diverse e posizionamento stratificato) piantumata parallelamente alle strade su lingue verdi permeabili, sufficientemente larghe e ombreggiate per poter essere attrezzate come zone di sosta, ristoro e socializzazione soprattutto nei mesi più caldi (Fig. 1). Una prima valutazione sulla qualità delle azioni proposta dal Piano, è fornita da uno studio (Camps-Calvet et alii, 2016) condotto dai ricercatori dell'Institute of Environmental and Technology (ICTA) di Barcellona e del Norwegian Institute for Nature Research (NINA) di Trondheim i quali individuano 20 servizi ecosistemici che spaziano dalla produzione di cibo all'impollinazione, dalla coesione sociale all'educazione ambientale.

Attraverso un sondaggio che ha interessato un campione di 245 utenti il gruppo di ricerca evidenzia che i servizi ecosistemici culturali (benefici non materiali derivanti dall'interazione dei cittadini con la natura) spiccano come i più ampiamente percepiti e apprezzati, mentre i principali beneficiari dei servizi ecosistemici degli orti urbani sono gli anziani, le persone a reddito medio-basso e gli immigrati. I risultati dell'indagine sono stati considerati rilevanti anche dall'Amministrazione e utili per valutare e potenziare le attività previste dal Piano. Tra le criticità del Piano

sono da segnalare l'assenza di un monitoraggio sulle azioni messe in atto e la riduzione della varietà delle specie messe a dimora per ottimizzare le attività e i costi di manutenzione del verde.

Anche alla scala architettonica esistono buone pratiche che prevedono prevalentemente l'impiego di tecniche e tecnologie consolidate per facciate verdi e tetti giardino, non sempre con effetti misurati in termini di impatto ambientale e microambientale. Esistono poi alcuni progetti che riescono a esprimere appieno il concetto di 'infrastruttura verde' valorizzandone le caratteristiche ambientali e la vasta gamma di potenziali servizi ecosistemici, come ad esempio le sperimentazioni di ecoLogicStudio e di PNAT, selezionate tra quelle che possono avere un'immediata applicazione e commercializzazione con costi accessibili, nel nostro quotidiano.

ecoLogicStudio è uno studio di architettura e design specializzato in biotecnologie per l'ambiente costruito, fondato a Londra nel 2005 da Claudia Pasquero e Marco Poletto, che ha costruito la propria reputazione in ambito internazionale grazie a una serie di progetti dal carattere sperimentale e innovativo capaci di integrare pensiero sistemico, design computazionale, biotecnologia e prototipazione digitale con un approccio che va oltre le scale del costruito per indagare i futuri modelli dell'abitare nell'Urban-sphere, definita dallo stesso Poletto (2018, p. 11) come «[...] what we may call the global apparatus of contemporary urbanity, a stack of dense informational, material and energetic networks supporting our society's increasingly demanding metabolism [...] which calls for architects to design it and to curate spatial knowledge across its scientific, artistic and technological domains», intendendo così affermare il superamento della separazione concettuale tra città e natura in favore di un nuovo paradigma in cui i flussi mate-

riali, informativi ed energetici generano trasformazioni morfologiche nel paesaggio urbano, nei suoi confini e nelle sue disposizioni spaziali.

Fin dalla sua costituzione ecoLogicStudio ha indagato soluzioni basate sulla natura – per affrontare le numerose sfide con cui le città contemporanee devono confrontarsi per raggiungere la neutralità del carbonio e compensare gli effetti del cambiamento climatico – con sperimentazioni che, attraverso il supporto della microbiologia e della biotecnologia, impiegano specie vegetali (ma anche animali) come infrastrutture naturali, interconnessioni biologiche, biosensori o metabolizzatori degli inquinanti urbani, a partire dalla scala delle installazioni e delle piccole architetture fino a quella della pianificazione urbana, passando per l'edilizia residenziale e gli edifici pubblici. In particolare le alghe assumono un ruolo centrale nei loro progetti per la dimostrata capacità di rimetabolizzare alcuni degli inquinanti prodotti dalle città ma anche in quanto elemento nutrizionale dall'elevato apporto proteico. A queste finalità rispondono le sperimentazioni di BIO.tech HUT, BioBombola, Photo-Synthetica Curtains e BioFactory.

Presentato all'Astana EXPO 2017 (Kazakistan) BIO.tech HUT è un padiglione che propone un prototipo per la coltura di alghe nella città contemporanea, con il quale lo studio londinese indaga il rapporto tra esseri umani e ambiente naturale (Fig. 2). Grazie alla collaborazione di biologi marini e coltivatori di alghe, nuove specie di microrganismi sono state impiegate per colture artificiali, modelli di crescita e materiali assemblati e si è potuto sviluppare un rivestimento foto-bioreattivo a partire da un primo sistema rivoluzionario che utilizza il flusso d'aria ad alta velocità per sollevare la materia vivente in tubi di vetro; esso genera anche un effetto centrifugo che catalizza lo scambio di  $O_2$  e  $CO_2$  e produce un fluido che si deposita per gravità completando il ciclo. I tubi divengono elementi architettonici sorretti da una serie di telai con sezione a nido d'ape, in polycarbonato ad alte prestazioni, conformando una struttura leggera completamente riciclabile che permette l'ingresso della radiazione solare all'interno della cellula abitativa.

Un secondo ambiente del padiglione, il Living Hut, è suddiviso in due sale: la sala Bio.light è illuminata dalla sola bioluminescenza dei batteri che si attivano quando vengono ossigenati dal sistema di trattamento dell'aria; la sala H.O.R.T.U.S. (Hydro Organisms Responsive to Urban Stimuli) è un'installazione con colonie fotosintetiche di cianobatteri, che i visitatori sono incoraggiati a nutrire con la propria anidride carbonica per generare ossigeno. Completa il percorso del padiglione il Garden Hut, un ambiente aperto per il processo e la trasformazione della biomassa in elettricità e cibo. Nella sua configurazione i servizi ecosistemici prodotti dal padiglione sono altamente performanti: giornalmente viene trasformata una quantità di anidride carbonica in ossigeno equivalente a quella di trentadue alberi che produce 1 kg di biocarburante, sufficiente per alimentare una casa media, e una quantità di proteine tale da alimentare dodici adulti.

Stesse finalità, ma con dimensioni più ridotte e ottimizzate per la commercializzazione è quella di un altro progetto, la BioBombola (2020), pensato per la coltivazione di spirulina in contesti ur-

bani e in particolare nelle abitazioni (Fig. 3). Il kit è composto da un fotobioreattore, un contenitore in vetro da laboratorio che contiene un ceppo di spirulina, un terreno di coltura ricco di sostanze nutritive e una piccola pompa dell'aria che agita costantemente il fluido. In termini di purificazione dell'aria, la bioBombola assorbe l'equivalente in CO<sub>2</sub> di due giovani alberi, produce ossigeno come sette piante d'appartamento e fino a sette grammi di spirulina al giorno.

La prima applicazione delle proprietà delle alghe in un edificio sono le PhotoSynthEtica Curtains, una sorta di 'tenda urbana' collocata sulla facciata dell'Irish Revenue and Custom a Dublino nel 2019, un'installazione composta da 16 moduli di 2 x 7 metri (Fig. 4). Ogni modulo funziona come un fotobioreattore, un contenitore di bioplastica, progettato digitalmente su misura che utilizza la luce naturale per alimentare le colture di microalghe viventi e rilasciare sfumature luminescenti di notte. L'aria urbana non filtrata viene introdotta nella parte inferiore dei moduli; risalendo naturalmente attraverso il liquido dei fotobioreattori di bioplastica, le bolle d'aria entrano in contatto con i microbi voraci che ne catturano le molecole di anidride carbonica e le sostanze inquinanti permettendo alle alghe di crescere in biomassa. Quest'ultima può essere raccolta e impiegata nella produzione di materia prima bioplastica che costituisce il principale materiale da costruzione dei fotobioreattori; a completamento del processo biologico, l'ossigeno fotosintetizzato viene rilasciato nel microclima urbano dalla parte superiore di ogni modulo di PhotoSynthEtica.

Una variante applicativa è la BioFactory, progetto pilota realizzato nel 2021 nella sede centrale di Nestlé a Lisbona (Fig. 5) in base al quale le microalghe alimentari si nutrono delle emissioni di CO<sub>2</sub> della stessa fabbrica mentre sono coltivate all'interno dei fotobioreattori. La biomassa appena raccolta entra nella catena di approvvigionamento della fabbrica per diventare una materia prima rinnovabile e sostenibile per prodotti alimentari e imballaggi a zero emissioni, attivando così un processo circolare che, con la crescita delle colture, nel tempo realizza un impianto più resiliente e con livelli più alti di produttività. Tutti i progetti di ecoLogicStudio si caratterizzano quindi per rendere evidenti biotecnologie, sistemi di coltivazione, di produzione e consumo nel progetto architettonico, superando così sia il dualismo tra natura e artificio in favore di una visione armonica tra esseri sia le cattive pratiche nelle quali l'elemento naturale ha una valenza puramente estetica o decorativa (Valenti and Pasquero, 2021).

Un'altra sperimentazione di 'infrastruttura verde' capace di valorizzarne le caratteristiche ambientali e al contempo fornire una vasta gamma di servizi ecosistemici è La Fabbrica dell'Aria ideata da PNAT (Project NATure), uno spin-off universitario fondato nel 2004 e un 'think tank' composto da un team multidisciplinare di botanici, agronomi, architetti e designer che si occupa di mettere in pratica una parte delle ricerche condotte dal Laboratorio Internazionale di Neurobiologia Vegetale (LINV); il suo Direttore, Stefano Mancuso (Professore Ordinario dell'Università di Firenze) e circa un centinaio di ricercatori studiano le piante nelle loro caratteristiche me-



Fig. 2 | BIOTech-HUT (2017), designed by ecoLogicStudio (source: ecologicstudio.com).

no conosciute, soprattutto per le loro capacità cognitive, cioè come le piante riescono a risolvere i problemi nell'ambiente costruito. PNAT elabora soluzioni tecnologiche innovative ispirate al modello vegetale per integrare le piante nelle città, nelle abitazioni, nei luoghi di lavoro e nello stile di vita delle persone, strutturando relazioni sinergiche tra l'ambiente naturale e artificiale, tema centrale del design biofilico e sostenibile.

La qualità dell'aria indoor è spesso sottovalutata rispetto a quella esterna; l'inquinamento interno può raggiungere valori fino a 3 volte superiori, mentre nel caso specifico dei composti organici volatili (gas contenenti una varietà di sostanze chimiche emesse da liquidi o solidi) tipo la formaldeide, le concentrazioni possono essere 10 volte superiori a quelle esterne, indipendentemente dal contesto in cui è collocato l'edificio (Tran, Park and Lee, 2020). Uno dei progetti più significativi di PNAT è La Fabbrica dell'Aria che nasce da una serie di studi sulla qualità dell'aria indoor ma anche dalla capacità delle piante di disinquinarla. Tuttavia, per poter ottenere effetti significativi se ne dovrebbe collocare una grande quantità così PNAT ha studiato un sistema che renda più efficiente la depurazione dell'aria, senza trascurare gli aspetti scenografici e di design.

Nel quotidiano, per migliorare l'aria interna si arieggiano i locali immettendo grandi volumi di aria dall'esterno che poi occorre climatizzare; La Fabbrica dell'Aria è un grande polmone verde, una serra da interni dotata di un sistema di filtrazione botanica (Stomata™) brevettato da PNAT che preleva l'aria dagli ambienti (quindi a temperatura ideale) e, dopo un passaggio forzato all'interno del volume di vetro, la reimmette nei locali, sfruttando la naturale capacità delle piante di trattenere e degradare le molecole inquinanti sia inorganiche (biossido di carbonio, composti dell'azoto, polveri sottili, ecc.) sia organi-

che (VOCs) incorporandole nella propria biomassa e costituendo così un filtro vegetale dalla durata illimitata, che non necessita di sostituzioni e molto più efficiente dei tradizionali filtri meccanici.

Per la Manifattura Tabacchi di Firenze (Fig. 6), PNAT ha sviluppato il primo prototipo de La Fabbrica dell'Aria, contribuendo alla rigenerazione dell'ex area industriale; la serra, installata nell'edificio B9, è pensata per essere una grande struttura vetrata a cavallo tra esterno e interno e ospita diverse specie di piante (Banano, Ficus, Kentia, Chamadorea, Aspidistra, Filodendrum, Microsorium, Fittonia, Dieffenbachia, Strelizia e Asplenium) con una particolare disposizione: le piante sono sistemate in modo tale da comporre diversi livelli di superficie fogliare in una sorta di percorso a ostacoli per l'aria da depurare. La serra è dotata di un impianto di irrigazione automatizzato e di un impianto di illuminazione artificiale con lampade Artemide dal design moderno che producono una luce d'ambiente, una luce con le frequenze che giovano alla fotosintesi delle piante e luci a led colorate in relazione alla fase di crescita delle piante.

La Fabbrica dell'Aria porta le piante negli spazi confinati con una veste nuova: non più come soli elementi decorativi, ma come base tecnologica di un dispositivo di bio-filtrazione botanica dell'aria all'avanguardia in grado di rispondere efficientemente, in maniera sostenibile e con costi di manutenzione molto contenuti, all'esigenza della depurazione dell'aria negli ambienti indoor: è quindi un dispositivo unico nel suo genere, nel quale le piante non sono solo elementi decorativi ma funzionano come core tecnologico. L'idea a cui sta attualmente lavorando PNAT è rendere l'installazione scalabile: a scala ridotta, creando delle mini fabbriche con la funzione di depurare in tempi rapidi l'interno di apparta-

menti di medie dimensioni tramite un piccolo volume della grandezza di mezzo metro cubo pieno di piante; a scala urbana, con grandi fabbriche che recuperano edifici inutilizzati per depurare aree della città particolarmente inquinate, in contrapposizione a quanto realizzato in Cina con alte torri, energivore ed economicamente insostenibili, che purificano l'aria attraverso particolari procedimenti chimici e fisici.

Oltre agli approcci a livello micro e meso, ecoLogicStudio ha anche messo in discussione i tradizionali approcci di pianificazione urbana attraverso il Deep Green, le cui prime sperimentazioni hanno visto coinvolte Guatemala City, Mogadiscio (Somalia) e Vranje (Serbia). Quello di Guatemala City è un Masterplan ecologico che, in un'ottica di metabolismo urbano integrato e simbiotico, utilizza l'intelligenza artificiale e gli algoritmi per definire scenari e strategie finalizzati a potenziare le infrastrutture biologiche, a metabolizzare l'inquinamento atmosferico, a gestire i rifiuti, il sistema idrico (Fig. 7) e il carbon trading e a produrre energia rinnovabile. Il 'toolkit' messo a disposizione è scalare e consente di creare città resilienti sfruttando le potenzialità del design e dell'architettura per superare lo stallo dell'attuale crisi ecologica che secondo Claudia Pasquero è legata al fatto che se si è ottenuto molto in termini di 'innovation' poco è stato fatto in termini di 'design innovation' (Valenti and Pasquero, 2021).

I casi studio riportati dimostrano che è possibile superare la cattiva pratica del greenwashing e dar vita a 'nuova ecologia' fondata sul superamento del dualismo artificiale/naturale e in cui tutti gli attori (animati e inanimati) dell'ambiente costruito concorrono a caratterizzare un inedito paesaggio 'unificato' in un rapporto di profonda conoscenza e comprensione dei bisogni reciproci. I progetti discussi dimostrano una visione sistemica supportata da un approccio olistico e in-



Fig. 3 | BioBambola (2017), designed by ecoLogicStudio (source: ecollogicstudio.com).

terdisciplinare in cui l'uso creativo e strategico della vegetazione diviene determinante per avviare la tanto auspicata transizione ecologica da una 'città cementificata' a una più 'viva' e 'adattiva', realizzando servizi ecosistemici differenti con effetti e benefici alle diverse scale, da quelle territoriali a quelle delle unità ambientali.

Il loro punto di forza è l'approccio olistico e interdisciplinare che al contempo diviene una importante barriera per una sua diffusione come prassi, da parte di architetti e ingegneri, poiché fondato su azioni di ricerca e sperimentazione quotidiana non facilmente compatibili con le esigenze e i ritmi della professione. A tal proposito, per valutare come e in che misura nella pratica professionale la vegetazione assuma un ruolo centrale e determinante per risolvere le cogenti questioni ambientali e produrre i necessari servizi ecosistemici, si riportano di seguito gli esiti del recente New European Bauhaus Prizes 2021.

**Il New European Bauhaus Prizes 2021** | Per rilanciare l'European Green Deal (European Commission, 2019b) e per comprendere gli indirizzi progettuali del prossimo futuro in termini di sostenibilità la Commissione Europea ha promosso il New European Bauhaus (European Commission, 2021b) che si propone come un 'ponte' tra il mondo della scienza e della tecnologia e quello dell'arte e della cultura per avviare un progetto culturale e formativo con un impianto programmatico in divenire nel settennio 2021-2028.

I temi affrontati riguardano il cambiamento climatico attraverso l'impiego di tecniche di costruzione tradizionali e il riutilizzo dei materiali in ottica di economia circolare, soluzioni per la coevoluzione dell'ambiente costruito e per la protezione della biodiversità, processi di rigenerazione degli spazi e per l'inclusione sociale (intesa come accessibilità fisica, sociale ed economica), prodotti e processi che possono contribuire a uno stile di vita sostenibile, conservazione e trasformazione del Patrimonio Culturale per la vita della comunità, mobilitazione della cultura per la costruzione di una comunità sostenibile, soluzioni innovative di alloggio e modelli educativi che integrano i valori di sostenibilità, inclusione ed estetica sia nei contenuti che nei processi di apprendimento, il tutto attraverso la messa in rete e la condivisione di saperi complessi e diffusi come appunto quelli dell'architettura, dell'ingegneria, del design, dell'artigianato, delle nuove tecnologie e delle energie rinnovabili.

Il Concept Paper (New European Bauhaus High-Level Round Table, 2021) spiega ulteriormente la visione di una transizione 'guidata dalla cultura e dal design' verso una 'società a basse emissioni di carbonio, giusta e rigenerativa', con un 'passaggio da un'economia di crescita a un'economia di appartenenza', promuovendo una 'progettazione per il riallacciamento' con la natura ed evidenziando che gli edifici sono 'materialmente ricavati da risorse naturali limitate', pur essendo situati all'interno di ecosistemi connessi. Il New European Bauhaus è quindi lo strumento per tradurre l'European Green Deal in un'esperienza tangibile e positiva, un movimento 'aperto' per facilitare e guidare la trasformazione della nostra società verso tre valori inseparabili: a) Sostenibilità (dagli obiettivi climatici, alla circolarità, all'inquinamento zero e alla bio-

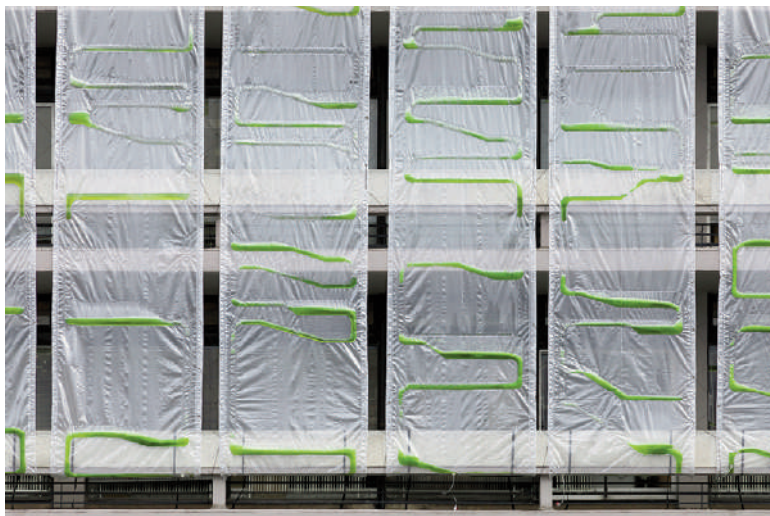
diversità); b) Estetica (qualità dell'esperienza e dello stile e funzionalità); c) Inclusione (dalla valorizzazione della diversità, alla garanzia dell'accessibilità anche economica). L'approccio dell'iniziativa è dichiarato come multilivello (da globale a locale), partecipativo e transdisciplinare e si confronta con quattro assi tematici: 1) riconnettersi con la natura; 2) ritrovare il senso di appartenenza; 3) dare priorità ai luoghi e alle persone che ne hanno più bisogno; 4) promuovere il lungo termine, il ciclo di vita e il pensiero integrato nell'ecosistema industriale.

Uno degli strumenti individuati dalla Commissione Europea è stato la call for projects lanciata per la prima edizione del New European Bauhaus Prizes (2021): più di 2.000 progetti e idee hanno contribuito a plasmare lo spirito dell'iniziativa. Per l'eccellenza e la creatività sono stati selezionati 60 finalist<sup>3</sup> e poi assegnati un totale di 20 premi, 10 per gli New European Bauhaus Awards (NEBA) e 10 per le New European Bauhaus Rising Stars (NEBRs) per ciascuno delle 10 categorie individuate: 'Techniques, materials and processes for construction and design'; 'Buildings renovated in a spirit of circularity'; 'Solutions for the co-evolution of built environment and nature'; 'Regenerated urban and rural spaces'; 'Products and life style'; 'Preserved and transformed cultural heritage'; 'Reinvented places to meet and share'; 'Mobilisation of culture, arts and communities'; 'Modular, adaptable and mobile living solutions'; 'Interdisciplinary education models'.

Dei 60 finalisti la maggior parte provenivano dalla Spagna e dall'Italia<sup>4</sup>, così come tra i 20 premiati si riscontra una prevalenza della Spagna con n. 9 premi (45%), seguita dall'Italia con n. 5 premi (25%), dalla Germania con n. 2 premi (10%) e infine da Austria, Slovenia, Portogallo e Danimarca con un premio (5%) ciascuno. I progetti finalisti del New European Bauhaus Prizes 2021 sono stati analizzati, per le finalità del presente articolo, in base all'impiego di Nature-based Solutions per comprendere quanto e in che misura la vegetazione possa assumere un ruolo centrale e 'sostanziale' nei progetti del prossimo futuro. Tredici sono i progetti che presentano un uso del greenery come 'parte integrante del progetto', sotto forma di 'elemento vegetale' o di 'materiale da costruzione'; essi interessano ambiti urbani ed extraurbani diversamente densificati, scale d'intervento differenti, fabbricati nuovi ed esistenti recuperati (pubblici o privati) di dimensione varia, impiegano le diverse forme del greenery all'interno o all'esterno, su superfici orizzontali o verticali, con tecnologie tradizionali o innovative, con un approccio circolare e per valorizzare la biodiversità.

Dei tredici tre sono i progetti più innovativi che meglio esprimono il concetto di 'infrastrutture verdi' e valorizzano le sue potenzialità in termini di realizzazione di servizi ecosistemici: The Fantastic Forest Phenomenon, Gardens in the Air e Nest si distinguono per il carattere innovativo e creativo, avendo saputo da un lato cogliere le criticità dei rispettivi contesti locali e le esigenze degli abitanti, dall'altro fornire risposte concrete attraverso l'integrazione della natura – e della vegetazione in particolare – con il costruito alle diverse scale urbane (di quartiere) e dell'edificio.

The Fantastic Forest Phenomenon è un pro-



**Fig. 4** | PhotoSynthEtica Curtains (2019) in Dublin, designed by ecoLogicStudio (source: ecologicstudio.com).

**Fig. 5** | Biofactory, Nestlé Headquarters in Lisbona (2021), designed by ecoLogicStudio (credit: A. Cepeda).

**Fig. 6** | La Fabbrica dell'Aria designed by PNAT (source: pnat.net).

getto per la rigenerazione del quartiere di Lušćić a Karlovac (Croazia), risultato già vincitore del concorso internazionale European 15 – Productive Cities nel 2019, con l'obiettivo di ripensare le strategie territoriali poiché 'le promesse di crescita infinita hanno portato a compromessi territoriali sbagliati e a uno spreco di risorse': i nuovi corridoi verdi e grigi favoriscono il flusso dinamico di persone, energia e acqua attraverso tutta la città, generando un mix di naturale e artificiale in cui le risorse locali scorrono in maniera circolare, consolidando le relazioni sociali tra gli abitanti, creando nuove opportunità di lavoro e di sviluppo economico ed eliminando gli scarti del processo produttivo (Figg. 8, 9). Ortaggi, erbe aromatiche e fiori vengono coltivati in serre idroponiche verticali (per lasciare spazio alle infrastrutture sociali del quartiere) che utilizzano sia l'acqua raccolta dalle superfici pavimentate limitrofe sia quella prodotta dalla condensa della nebbia sulle superfici vetrate, per poi essere in parte commercializzati e in parte utilizzati nella produzione di cosmetici naturali o di una tra le birre artigianali più popolari della Croazia, la Karlovačko. Anche i sottoprodotti sono reimmessi nel ciclo produttivo per la produzione di energia elettrica attraverso piccoli impianti di cogenerazione o come fertilizzante.

Gardens in the Air è un progetto per la rinaturalizzazione del quartiere di Tres Barrios-Amate a Siviglia, uno dei più poveri della Spagna i cui

abitanti, in prevalenza anziani e immigrati, vivono in appartamenti di circa 50 metri quadri e un'altezza media di 2,30 metri, fortemente provati dalle temperature estive che raggiungono i 45 °C per diverse ore del giorno; l'unico ristoro è offerto dalla climatizzazione, le cui unità esterne hanno finito per caratterizzare il paesaggio urbano. Su questi presupposti e con l'obiettivo di esplorare le risorse e le specie del quartiere e di generare nuove relazioni con e tra gli abitanti del quartiere in una chiave di sostenibilità ed equilibrio ecosistemico, è stato elaborato un progetto 'creativo' (con tre opere interconnesse) che ha visto la partecipazione di artisti, agronomi, architetti, residenti e giovani dell'organizzazione locale A.E.S. Candelaria.

La prima opera è un giardino verticale realizzato con 19 scatole di legno microforate (con trame che richiamano la natura multietnica degli abitanti), ciascuna a copertura di un'unità di climatizzazione utile a contenere un vaso di terracotta con piante irrigate dall'acqua di condensa dell'impianto meccanico (1,5 litri al giorno; Figg. 10, 11); la seconda è la produzione di profumo e oli essenziali estratti dagli scarti di potatura delle piante per generare economie circolari che valorizzino le risorse locali, promuovano la cura della natura nelle periferie e divulgano i suoi benefici ecosistemici; infine la polifonia Synergies con i suoni del quartiere e interviste ai locali per partecipare i loro potenziali legami emotivi.

NEST (Natural Eco-System Tiles) è un sistema ecologico e sostenibile che si propone come soluzione in carenza di spazi in cui valorizzare la biodiversità in ambito urbano (Barcellona) sfruttandone le superfici verticali inutilizzate; a questa funzione primaria se ne aggiungono altre, tra cui il contrasto all'inquinamento atmosferico e il miglioramento delle prestazioni termiche e acustiche delle chiusure verticali. Ma non solo: i pannelli modulari dal design parametrico sono pensati per rispondere alle specifiche esigenze dell'ecosistema locale, da un lato agevolando la crescita passiva e a bassa manutenzione della flora, dall'altro fornendo alla fauna i necessari spazi per 'nidificare', grazie alla possibilità di variarne le dimensioni, la porosità, la struttura e la consistenza (Figg. 12-15). Realizzati in argilla locale (priva di componenti tossici) tramite un processo di fabbricazione digitale additiva che si caratterizza per flessibilità nella modellazione, facile customizzazione, creazione di prototipi rapidi ed eliminazione degli scarti di produzione, i pannelli possono essere impiegati sia nelle nuove costruzioni sia in interventi di retrofitting energetico su edifici esistenti.

**Discussione** | Le 'soluzioni basate sulla natura' e sulle infrastrutture 'verdi' offrono un grande potenziale per fornire beni e servizi ecosistemici, favorire una migliore qualità della vita, migliorare la biodiversità, mitigare i cambiamenti climatici e



stoccare il carbonio, con molteplici benefici indiretti legati a una maggiore resilienza e adattamento degli agglomerati urbani (IPCC 2022a, chapter 8, p. 6), «[...] a smarter and more integrated approach to development, with limited space utilised in an efficient coherent way» (European Commission, 2014, p. 7). Tuttavia, come ha sottolineato Celine Baumann (Block, 2019), «[...] Greenery is unfortunately too often used as an alibi for new developments, by wrapping buildings in green as sole legitimisation of an otherwise unsustainable project»; molti progetti impiegano foreste verticali, tetti verdi, fattorie urbane e pareti viventi che apportano pochi benefici all'ambiente e talvolta sono addirittura dannosi se non utilizzati in modo corretto e 'consapevole' poiché il «[...] Greenery is not per se ecological, and the commodification of nature can lead in fact to reduced biodiversity and higher pollution levels» (Block, 2019), come nel caso dell'Apple Park e dei suoi dintorni il cui 'vestito green' (fotovoltaico e parco interno) non è sufficiente a compensare l'immenso impatto ambientale del costruito.

In quest'ottica per meglio sfruttare il potenziale del 'verde' e raggiungere un nuovo equilibrio ecosistemico è necessario, da un lato comprendere meglio i sistemi naturali e il loro funzionamento con il supporto di architetti del paesaggio, biologi ed ecologi senza i quali non è possibile promuovere una cultura progettuale olistica, inclusiva e 'meno antropocentrica', dall'altro coinvolgere le comunità locali attraverso «[...] awareness and empathy for the rich worlds of other species and entities [...] with deep respect for the complex narratives of places [...] their histories and futures» (New European Bauhaus, 2021, pp. 4-5), attribuendo, secondo la visione del 'connecting to country' delle comunità indigene, la stessa importanza a uomini, animali, risorse e piante all'interno dei sistemi naturali<sup>5</sup>. Pertanto se la necessità di un cambio di paradigma ci consente di afferire che la realizzazione di nuove costruzioni nuoce agli ecosistemi e alle culture locali e l'estrazione di risorse compromette la biodiversità, allora la rigenerazione in chiave sostenibile dell'habitat dovrebbe essere sempre preferita alla realizzazione di nuove città cosiddette 'verdi'.

I progetti 'avanguardisti' di ecoLogicStudio dimostrano come il design biofilico riesca a instaurare una relazione cibernetica molto promettente tra l'architettura e l'ambiente costruito attraverso la crescita di microalghe in grado di servire scopi molteplici e fornire servizi ecosistemici diversi, 'veri e propri materiali di progetto' per varie scale di intervento con elevate qualità prestazionali, per creare 'un concetto adattivo e vivente' e metabolizzare gli inquinanti prodotti dalla città. Se le sperimentazioni di ecoLogicStudio ci suggeriscono nuovi approcci altamente sofisticati per affrontare le sfide dell'urbanizzazione, gli altri casi studio illustrati dimostrano che la simbiosi tra verde e costruito può essere raggiunta a scale diverse soprattutto se sviluppata in sinergia con le comunità locali e con le pratiche vernacolari.

Nello specifico Nest e Gardens in the Air, vincitori del New European Bauhaus Prize 2021, promuovono con successo la simbiosi tra natura e costruito alla microscala, così come i progetti Bio-

tech HUT, BioBombola e PhotoSynthEtica di ecoLogicStudio, sperimentazioni del tipo bottom-up che possono essere trasferite in applicazioni di più ampia scala; la BioFactory di ecoLogicStudio consente di estendere l'uso delle alghe come forma di costruzione a scala urbana, mentre la Fabbrica dell'Aria di PNAT pone l'obiettivo di purificare l'aria delle città che sono in costante crescita; il Fantastic Forest Phenomenon e il Piano per le Infrastrutture Verdi e la Biodiversità di Barcellona hanno una visione ampia delle opportunità simbiotiche che si traduce nella integrazione di infrastrutture verdi e grigie, mentre il Deep Green, frutto della collaborazione tra ecoLogicStudio, United Nations Development Programme e partner accademici iniziata nel 2019, trasferisce questo approccio a una scala più grande, fornendo una visione del futuro nella quale intelligenza artificiale, algoritmi e dati ad alta risoluzione possono consentire di prefigurare e simulare scenari di sviluppo urbano sostenibile attraverso «[...] an interface between bottom-up processes of self-organisation such as recycling activities [...] and the strategic decision-making that occurs at municipal, national and international level».<sup>6</sup>

**Riflessioni conclusive** | Per affrontare la portata e l'urgenza delle attuali sfide globali, come il cambiamento climatico, la perdita di biodiversità e la crescita incontrollata delle città, sono necessari approcci radicalmente diversi da quelli in atto. Secondo l'IPCC (2022a, chapter 8, p. 91), «[...] the demand that new and emerging cities will place on natural resource use, materials, and emissions can be minimised and avoided only if urban settlements are planned and built much differently than today [...]». Non possiamo pretendere di proteggere la biodiversità attraverso le cosiddette soluzioni basate sulla natura e le infrastrutture verdi e allo stesso tempo pianificare la costruzione di un'altra New York ogni 34 giorni fino al 2060: le due strategie sono chiaramente in contraddizione.

È quindi imperativo il richiamo al senso di responsabilità del genere umano e alla consapevolezza che viviamo in un mondo con risorse finite nel quale, pur soddisfacendo le nostre esigenze, dobbiamo costruire e consumare meno per ridurre al minimo l'impronta antropica sugli ecosistemi a scala micro, meso e macro. A tal proposito, il recente Rapporto dell'IPCC (2022a) sulla mitigazione dei cambiamenti climatici ha introdotto il concetto di 'sufficienza' all'interno del Chapter 9 e del Summary for Policy Makers, che prevede di limitare la domanda di energia, materiali, terra e acqua, garantendo al contempo il benessere per tutti entro i confini del pianeta. Tale concetto di 'sufficienza', esplicitato nel nuovo Chapter 5 – Demand, Services, and Social Aspects of Innovation, suggerisce la necessità di mettere in discussione la domanda di nuove costruzioni fin dalla fase ideativa e di considerare soluzioni alternative basate sui servizi digitali che richiedono meno superficie costruita, sulla riduzione della superficie pro capite, sulla multifunzionalità degli spazi e sul riuso del patrimonio esistente. Con questo nuovo paradigma le 'soluzioni basate sulla sufficienza' e sull'analisi della domanda possono contribuire in modo determinante ai temi del cambiamento climatico,

della perdita di biodiversità, del cambiamento dei sistemi territoriali e delle disuguaglianze globali, favorendo il raggiungimento di diversi SDGs.

Contestualmente, le soluzioni basate sulla natura e le infrastrutture verdi non dovrebbero essere considerate separatamente dall'ambiente costruito poiché sono tutti elementi strettamente interconnessi nei sistemi locali, urbani e globali che possono generare importanti sinergie, così come dimostrato attraverso un approccio olistico, abilitato da tecnologie di frontiera, da ecoLogicStudio con il Deep Green e con altri casi studio a scale diverse. Infine è importante riconoscere e superare le barriere che ostacolano la diffusione dei casi studio e delle lungimiranti sperimentazioni citate, prevalentemente riconducibili a una mentalità diffusa antropocentrica che vede l'umanità come superiore agli altri esseri viventi e alla natura e a una falsa aspettativa per la quale le sfide climatiche e ambientali possano essere affrontate perseguendo una crescita economica illimitata anche a discapito dell'ecosistema. Nonostante ciò la strada verso la transizione ecologica è tracciata: i recenti Rapporti dell'IPCC (2022a, b) evidenziano infatti che le politiche degli Stati si stanno indirizzando verso cambiamenti 'aggressive and immediate' che, se rafforzati e attuati, fanno ben sperare per il futuro del nostro Pianeta.

---

The United Nations has described expansive urban settlements that contribute 60 per cent of global GDP as 'powerhouses of economic growth', notwithstanding that they account for 75 per cent of GHG emissions and over 60 per cent of non-renewable resource use (UN, 2022). The rapidly increasing urban agglomeration, in response to urbanisation and unparalleled consumption, tramples on the natural environment: the world is expected to require 230 billion square meters of new construction by 2060, the equivalent of adding another New York City to the planet every 34 days (UN Environment and IEA, 2017), an extraordinary prediction which threatens to exacerbate biodiversity loss, climate change, and global disparity. Another fact should give us pause for thought: the recent IPCC 6th assessment Report highlights that the urban share of GHG emissions increased by 6 per cent from 2000 to 2015, with a per capita increase of 11.8 per cent; this is mainly due to continuing growth in cities of the Global North, which produce 7 times more GHG emissions per capita than the lowest emitting region of the South (IPCC, 2022a). Despite being viewed as the main causes of climate and environmental change, cities are ironically seen as the solution; using greenery in green buildings and green infrastructures is considered the remedy for urban regeneration and for ensuring more healthy and liveable cities.

According to Xing et alii (2017, p. 14), «[...] there is an instinctive bond between human beings and other living systems, which offers a powerful force to re-green our cities». In this regard, 'nature-based solutions' are viewed as delivering multiple benefits for humans and ecosystems while promoting «[...] a more resource-efficient, inclusive and sustainable growth model» (Favre et alii, 2017, p. 510). This vision requires

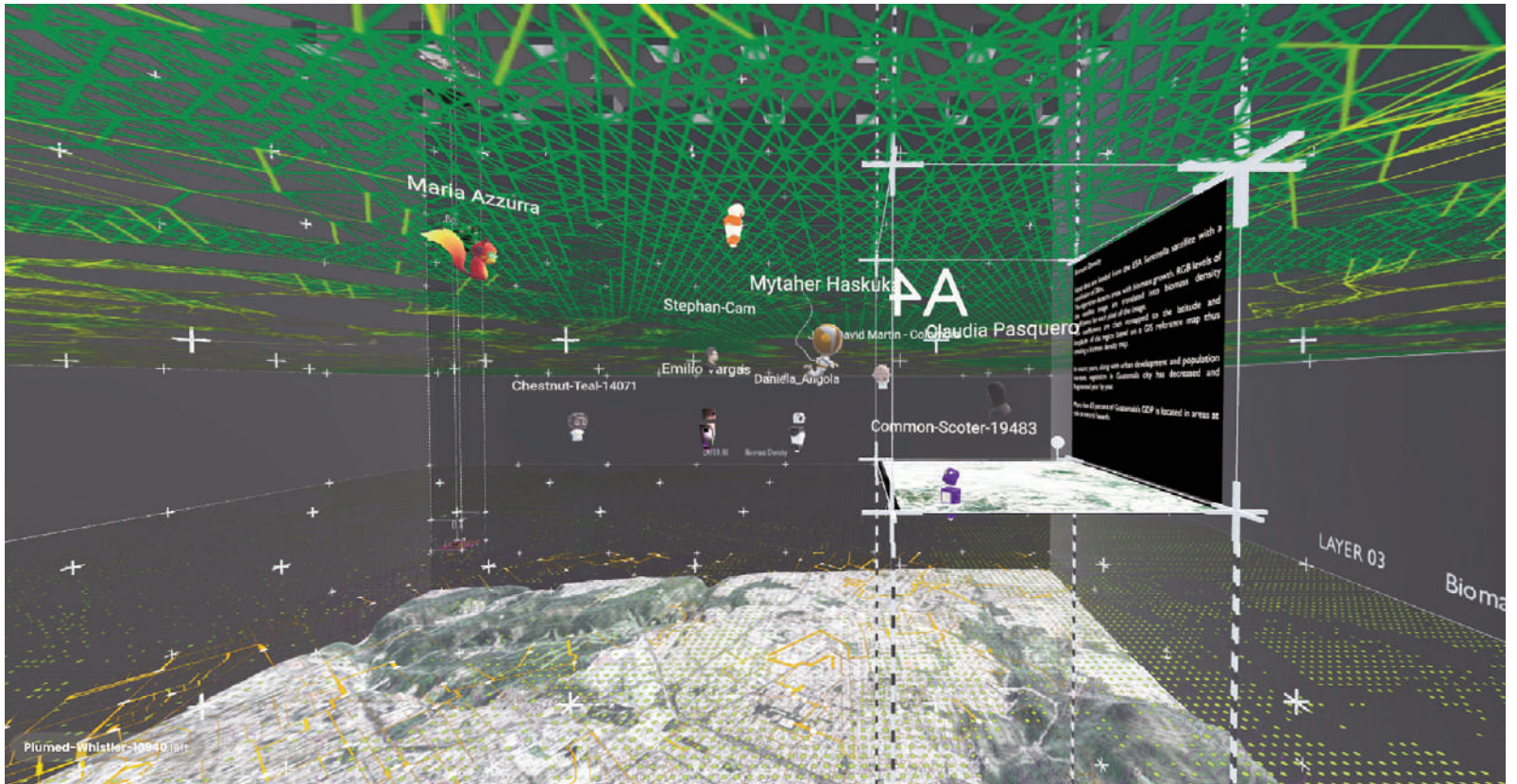


Fig. 7 | Deep Green (2021), designed by ecoLogicStudio (source: msd.unimelb.edu.au).

some considerations. Firstly, this raises the macro-scale question of whether the growth of the built environment may be ‘constrained’, enabling housing, infrastructure and services to be delivered with a reduced footprint on the land and the environment. Secondly, at a meso or microscale, whether greenery can enter into symbiosis with the built form, or whether it is merely window-dressing. Via ‘tree-scrappers’, ‘farm-scrappers’, and buildings superficially covered with greenery, towering ‘10 minute’<sup>1</sup> and ‘15 minute’ cities are touted as being sustainable, eco-friendly, green, and inclusive (Kohlstedt, 2020; Moreno, 2020).

Analysing these critical issues, the article takes a different approach to current literature and practice, which tends to view the integration of the natural and artificial environments in a narrow way; it seeks to show that – through a series of case studies and good practices – more holistic and illuminating solutions may be found by zooming out our lens and examining the challenge within a wider system context at different scales.

**State of the art of research, urban programmes and experimental projects** | The scientific literature agrees on the primary role of ‘green infrastructures’ in the implementation of resilient strategies aimed at contrasting climate change effects and at the same time, they are recognized as an important solution to reach many objectives, including the protection and enhancement of biodiversity, the improvement of the quality of life and wellbeing of the residents in urban areas, the consolidation of social relations, and the economic development (European Commission, 2014, 2019a, 2021a). The European Commission (2013, p. 3) defined ‘green infrastructures’ as «[...] a

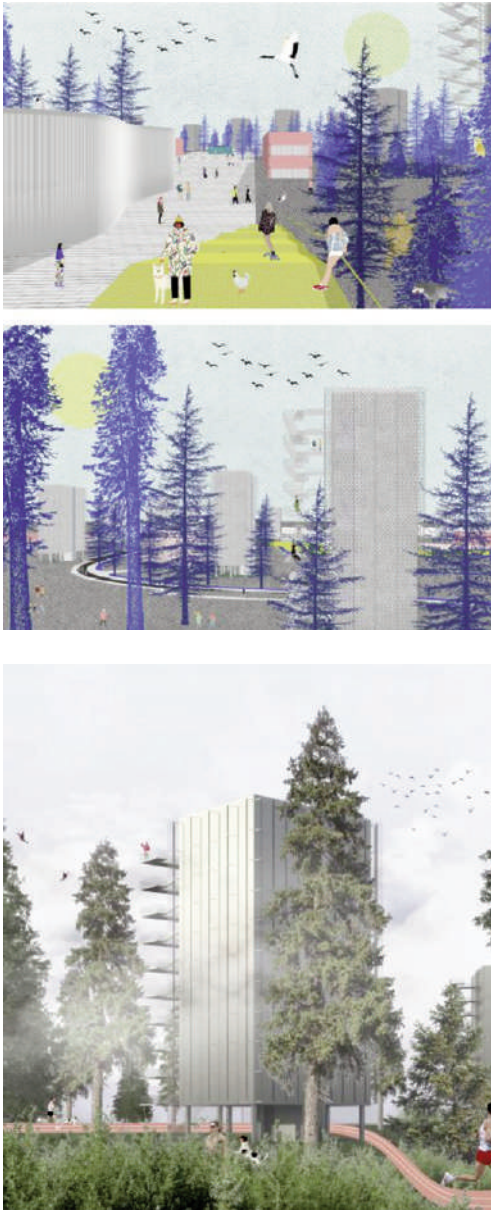
strategically planned network of natural and semi-natural areas with other environmental features designed and managed to deliver a wide range of ecosystem services»; this showed the growing interest that, since 2006, has attracted many disciplinary scientific sectors – even traditionally diverse, mostly in temperate or snow climates such as the United States, China, the United Kingdom, Italy, Australia, Germany, Sweden, Canada and the Netherlands (Ying et alii, 2021). They mainly investigated the topics ‘environment/ecology’, ‘planning/politics’, ‘social’, ‘health/wellbeing’, ‘economy’, ‘quality/performance of green infrastructures’, ‘stormwater/drainage’, ‘climate’ and ‘public outdoor space’ (Parker and Zingoni de Baro, 2019).

The different scales investigated in the scientific literature also contribute to establishing the strategic role ‘green infrastructures’ can have in reaching multiple objectives, mostly in highly urbanized contexts. On the microscale (concerning a specific site), multifunctional and sustainable management measures of the hydrological cycle are mainly investigated – aimed to control and reuse stormwater runoff – but also measures to increase permeable surfaces in the urban area – green roofs and walls, urban gardens, rain gardens, wetlands, etc. (Zhang and Chui, 2019). On the mesoscale the attention is focused on urban contexts (both in the centre and in the outskirts) and on the public spaces for ecosystem services that they can produce in terms of human and environmental health, contrasting the heat island effect and the air pollution, but most of all by enhancing the biodiversity (Savas, 2016). On the macro-scale, the investigation expands on all the territory, intended as a ‘diffused ecosystemic network’, to ensure the

protection of natural habitats and the diversity of their species (Sheng et alii, 2019).

Although the scientific literature on ‘green infrastructures’ is very prolific, especially in the last ten years, the strategies and measures published for their use are not yet widespread, as confirmed by the recent IPCC Report (2022b) entitled *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Analyzing all the productive sectors points out that the progress made to date is not very relevant and the actions undertaken are not enough. Nevertheless, words such as ‘green’, ‘sustainability’, ‘greenery’ and ‘greening’ are on every website (respectively 17.13 bn, 2 bn, 99.30 m and 29.30 m pages found on Google in April 2022) and are frequently used in our daily life. It is possible to find good practices, but the attention paid by the users to the subject has made it mostly a marketing strategy for the different productive sectors that use the practice called ‘greenwashing’. The companies provide false or incomplete information to present their brand or product as environmentally conscious to increase their sales or visibility (de Freitas Netto et alii, 2020).

Even the construction world is not immune from this ‘irresponsible’ practice (Olson, 2021), as well as the projects made by many ‘architects’, often considered as references, with the aid of magazines and websites, proposing bold, futuristic architectures with an elegant ‘green dress’ to ensure the success of a project, whose architectural design seems to be the only key to solving the climate change effects. A case in point is the new Apple Park by Norman Foster, the new headquarters of the American giant inaugurated in Cupertino in 2017. Its ring structure, with a diameter of 1.6 km, has six floors (two



**Fig. 8, 9** | The Fantastic Forest Phenomenon (source: 2021.prizes.new-european-bauhaus.eu).

are underground for parking lots) and a floor area of 260,000 square meters to accommodate about 13,000 employees. Apple and Foster have not failed to advertise the sustainability of the building by highlighting the photovoltaic system of 17 MW that provides energy self-sufficiency and the internal park with 9,000 trees. These elements, however, are not enough to compensate (despite the expense of 5 bn euros) for the impact and soil occupation generated by the massive construction works, including the new road network, the ground level external parking lots, and urbanisation that is developing around the 'spaceship'.

However, there are many projects-actions, both on an urban and architectonic scale, showing a new awareness of the importance that vegetation can have for sustainability (in its three-fold social, economic and environmental aspects) of buildings, allowing us to imagine that the future of our planet may be 'greener'. In Europe, some good practices can be the Green Plans<sup>2</sup> created by Valencia, Madrid, Amsterdam, and Paris. However, Barcelona's Plan can be

considered representative for its variety of actions and the extension of the territory.

The Barcelona Green Infrastructure and Biodiversity Plan 2020 was approved in 2013 to counteract building densification (and the loss of green areas in the districts), intense vehicular traffic, air pollution, and heat island and climate change effects. Intending to increase the green area by 1 square meter per citizen before 2030, the Plan contains more than 70 projects and actions aimed at providing social and environmental services, adding nature to the city, increasing biodiversity, and the connectivity between fragmented green infrastructures, and making the city more resilient (Ajuntament de Barcelona, 2013; IEEP, 2016). It experiments with a new policy to promote the creation of urban green spaces and urban gardens in free areas, by involving the citizens. The Plan considers essential the creation of equipped green corridors that can connect the different green areas but also urban gardens and private greenery which are seen as an important component of the urban infrastructure. The coastal dunes area and the peri-urban park of Collserola receive special attention for their delicate ecosystems, but also for the positive impact they generate on tourism and the local economy.

Some of the strengths of the Plan are: the Tree Master Plan – to be implemented with a 9.4 million euros budget per year – and the Green Corridors with thick vegetation (characterized by different species and stratified placement) parallel to the roads on permeable vegetative filter strips, sufficiently large and shaded to become rest, refreshments and socializing areas especially in the warmer months (Fig. 1). A first assessment of the quality of the actions proposed by the Plan is provided by a study (Camps-Calvet et alii, 2016) carried out by the Institute of Environmental and Technology (ICTA) of Barcelona and the Norwegian Institute for Nature Research (NINA) of Trondheim researchers. They identified 20 ecosystem services ranging from food production to pollination, from social cohesion to environmental education.

Through a survey involving 245 users, the research group highlighted that cultural ecosystem services (non-material benefits deriving from the interaction of citizens with nature) stood out as the most widely understood and appreciated, while the main recipients of ecosystem services of urban gardens were the elderly, low-middle income people and immigrants. The Government considered the results of the investigation relevant and useful to evaluate and enhance the activities envisaged by the Plan. Some problems of the Plan are the absence of control on the actions implemented and the reduction of the variety of species planted in order to optimize the activities and maintenance costs of the greenery.

Also on the architectural scale, there are good practices that mostly envisage the use of well-established techniques and technologies for green facades and roof gardens, not always with measured effects on environmental and microenvironmental impact. Some projects fully express the concept of 'green infrastructure' enhancing its environmental characteristics and the wide range of potential ecosystem services, such

as ecoLogicStudio and PNAT's experiments, selected from those that can have an immediate application, with affordable costs, in our daily life.

EcoLogicStudio is an architecture and design firm specialising in biotechnology for the built environment. Co-founded in London in 2005 by Claudia Pasquero and Marco Poletto, the studio has built its reputation internationally with its experimental and innovative projects, capable of integrating systemic thought, computational design, biotechnology and digital prototyping with an approach that goes beyond the built scale to investigate future models of urban living in the Urbansphere. It was defined by Poletto (2018, p. 11) as «[...] what we may call the global apparatus of contemporary urbanity, a stack of dense informational, material and energetic networks supporting our society's increasingly demanding metabolism [...] which calls for architects to design it and to curate spatial knowledge across its scientific, artistic and technological domains». He wanted to state that the conceptual separation between city and nature has been overcome in favour of a new paradigm in which material, information and energy flows generate morphological transformations in the urban landscape, its boundaries and its layouts.

Since its creation, ecoLogicStudio has investigated nature-based solutions – to take on the many challenges contemporary cities are faced with to reach carbon neutrality and compensate for the effects of climate change – with experiments that, with the support of microbiology and biotechnology, use plant species (but also animals) as natural infrastructures, biological interconnections, biosensors or metabolisers of urban pollutants, starting from installations and small architectures, to urban planning, residential construction and public buildings. In particular, the algae have a key role in their projects, for their demonstrated ability to remetabolise some of the pollutants produced by cities but also because they are a nutritional element with a high protein intake; BIO.tech HUT, BioBombola, PhotoSynthetica Curtains and BioFactory's experiments respond to these aims.

At the Astana EXPO 2017 (Kazakhstan) BIO.tech HUT was presented. The pavilion proposed a prototype of algae farming in contemporary cities. The London-based studio explored with it the anthropological relationship between humans and the natural environment (Fig. 2). Designed in collaboration with marine biologists and algae farmers, new species of micro-organisms were used in artificial cultivation environments, growth patterns and material assemblies. The photo-bioreactive cladding was developed from a first-of-its-kind revolutionary system that uses high-speed airflow to lift the living medium into lab grade glass tubes in which the air stream creates eddies and generates a stirring effect that catalyzes the O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> exchange. The fluid then descends by gravity to complete the loop. The tubes become architectural elements supported by a series of sectional frames in high-performance honeycombed polycarbonate. The resulting structure is lightweight, fully recyclable and allows the penetration of solar radiation deep into the hut.

Then there was the Living Hut divided into two rooms. The Bio.light Room, is a space light-

ed only by bioluminescent bacteria activated when shaken and oxygenated by the air handling system. The H.O.R.T.U.S. (Hydro Organisms Responsive to Urban Stimuli) room, was an installation inhabited by photosynthetic colonies of cyanobacteria, which visitors were encouraged to nurture with carbon dioxide in order to generate oxygen. To finish the pavilion exhibition, there was the Garden Hut, an open space for the processing and transformation of biomass into food and electricity. The ecosystem services of the pavilion were highly performing: daily, it transformed an amount of carbon dioxide into oxygen equivalent to that of thirty-two trees and produced 1 kg of biofuel, enough to power an average home, and an amount of protein enough to feed twelve adults.

The BioBombola project (2020), with the same aim but with a smaller size and optimized to be marketed, was devised to cultivate spirulina in urban contexts and in particular in homes (Fig. 3). The kit is composed of a photobioreactor, a lab grade glass container, filled with one Spirulina strain, a culture medium with nutrients and a small air pump that constantly stirs the medium. Regarding air purification, the BioBombola absorbed the equivalent of two young trees in CO<sub>2</sub> while producing the same amount of oxygen as seven indoor plants and up to seven grams of Spirulina per day.

The first implementation of the properties of algae in a building was the PhotoSynthEtica Curtains, a sort of 'urban curtain' installed on the facade of the Irish Revenue and Custom in Dublin in 2019, composed of 16 modules of 2 x 7 meters (Fig. 4). Each module functions as a photobioreactor, a digitally designed and custom made bioplastic container – using daylight to feed the living micro-algal cultures and releasing luminescent shades at night. Unfiltered urban air is

introduced at the bottom of each module and naturally rises through the liquid within the bioplastic photobioreactors. The air bubbles capture the CO<sub>2</sub> molecules and air pollutants and allow algae to grow into biomass. The latter can be collected and used in the production of bioplastic raw material, which is the main building material of photobioreactors. At the end of the biological process, the photosynthesized oxygen is then released from the top of each PhotoSynthEtica module back into the urban microclimate.

A different application is the BioFactory, a pilot project made in 2021 in the main headquarters of Neslé in Lisbon (Fig. 5). Food micro-algae are grown inside the photobioreactors while feeding on the CO<sub>2</sub> emissions of the factory itself. Freshly harvested biomass enters the factory supply chain to become a renewable and sustainable raw material for carbon-neutral food products and packaging. It activates a circular process that, thanks to the growth of crops, over time, becomes a more resilient facility with higher levels of productivity. Each project by ecoLogicStudio is distinguished by the way of highlighting biotechnologies, cultivation, production and consumption systems in the architectural project, thus overcoming the nature/artifice dualism between beings and bad practices in which the natural element has an aesthetic purpose or a decorative function, in favour of a harmonious vision (Valenti and Pasquero, 2021).

Another 'green infrastructure' experimentation capable of enhancing environmental characteristics while providing a wide range of ecosystem services is the Fabbrica dell'Aria created by PNAT (Project NATURE). PNAT is a university spin-off founded in 2004, a 'think tank' made from a multidisciplinary group of botanists, agronomists, architects and designers in charge of implement-

ing part of the research carried out by the International Laboratory of Plant Neurobiology (LINV). Stefano Mancuso (the Director of LINV and a Full Professor of the University of Florence) and about a hundred researchers study the less-known characteristics of plants, especially their cognitive abilities, that is, how plants manage to solve problems in the built environment. PNAT creates innovative technological solutions inspired by the plant model to integrate plants into cities, homes, workplaces and the lifestyle of citizens, creating synergic relations between the natural and artificial environments, the core subject of the biophilic sustainable design.

The indoor air quality is often less considered than the outdoor air. Indoor pollution can reach values 3 times higher than outdoor pollution, and in the specific case of volatile organic compounds (gases containing a variety of chemical substances emitted by liquids or solids) such as formaldehyde, concentrations can be 10 times higher than external ones, regardless of the context where the building is located (Tran, Park and Lee, 2020). One of the most important projects by PNAT is the Fabbrica dell'Aria, originating from a series of studies on indoor air quality and the plant's ability to remove pollutants from the air. However, to get more significant effects a large number of plants should be placed. Therefore, PNAT has studied a system to make air pollution removal more efficient, without leaving out design and scenography aspects.

Daily, to improve the indoor air, the room is aerated with large volumes of air from the outside and then is air-conditioned. The Fabbrica dell'Aria is a big green space, an indoor greenhouse equipped with a botanical filtration system (Stomata™) patented by PNAT. It takes the air from the room (therefore at an ideal temperature) and after a forced passage inside the glass



Figg. 10, 11 | Garden in the Air (source: 2021.prizes.new-european-bauhaus.eu).

container, it puts it back into the room, using the plants' natural ability to retain and degrade both inorganic (carbon dioxide, nitrogen compounds, fine dust, etc.) and organic polluting molecules (VOCs), incorporating them into their biomass. Therefore, it constitutes a green filter of unlimited duration, which does not need to be replaced and is much more efficient than traditional mechanical filters.

For Manifattura Tabacchi in Florence (Fig. 6), PNAT has developed the first Fabbrica dell'Aria prototype, contributing to the regeneration of the former industrial area. The greenhouse is installed in the B9 building and is conceived as a big glass half-in-half-out structure containing many plant species (Banana tree, Ficus, Kentia, Chamadorea, Aspidistra, Philodendrons, Microsorium, Fittonia, Dieffenbachia, Strelitzia, Asplenium) with a specific layout. The plants are arranged to compose different levels of leaf areas, a sort of obstacle course for the air to be purified. The greenhouse has an automated irrigation system and an artificial lighting system with Artemide lamps with a modern design that creates ambient light, with frequencies that help plant photosynthesis and coloured LED lights changing according to the plant growth stage.

The Fabbrica dell'Aria brings plants to confined spaces in a new way: no longer as just decor elements but as the technological basis of a cutting-edge botanical air bio-filtration device capable of efficiently responding, in a sustainable way and with very low maintenance costs, to the need for indoor air pollution removal. It is a unique device, where plants are not only decor but provide a technological purpose. Currently, PNAT is working on making the installation scalable: on a small scale, to create mini factories with the function of quickly purifying medium-sized apartments through a small container of half a cubic meter full of plants; on an urban scale, to create big factories by repurposing unused buildings for purifying particularly polluted areas of the city – as opposed to highly energy-intensive and economically unsustainable towers built in China that purify the air through particular chemical and physical procedures.

In addition to approaches at a micro or meso level, ecoLogicStudio has also questioned traditional urban planning concepts via the Deep Green, whose first experiments involved Guatemala City, Mogadishu (Somalia) and Vranje (Serbia). Guatemala City has an ecological Masterplan that, following an integrated and symbiotic urban metabolism, uses artificial intelligence and algorithms to define scenarios and strategies aimed at enhancing biological infrastructure, metabolising air pollution, managing waste, the water system (Fig. 7) and carbon trading, and to produce renewable energy. The available scalable 'toolkit' enables the creation of resilient cities via the potential of design and architecture to overcome the stalemate of the current ecological crisis which, according to Claudia Pasquero, is linked to the achievements in 'innovation' and few developments in 'design innovation' (Valenti and Pasquero, 2021).

The above case studies show that it is possible to overcome the greenwashing bad practice and to create a 'new ecology' based on overcoming the artificial/natural dualism and in which

all the actors (animate and inanimate) of the built environment combine to characterize an unprecedented 'unified' landscape in a profound bond made of knowledge and understanding of mutual needs. The discussed projects show a systemic vision supported by a holistic and cross-disciplinary approach in which the creative and strategic use of vegetation becomes decisive to start the much-desired ecological transition, shifting from a 'concrete city' to a more 'lively' and 'adaptive' one, creating different ecosystem services with effects and benefits from territorial to environmental units scales.

Their strength is the holistic and cross-disciplinary approach. At the same time, it is a barrier to its dissemination as a practice, for architects and engineers, because it is based on daily research and experimentation actions not easily compatible with the needs and rhythms of the job. Moreover, to evaluate how and to what extent in the professional work the greenery takes a central and crucial role, and to solve the imperative environmental problem and produce the necessary ecosystem services, the results of the New European Bauhaus Prizes 2021 are discussed below.

**The New European Bauhaus Prizes 2021** | To boost the European Green Deal (European Commission, 2019b) and to inform design guidelines of the near future on sustainability, the European Commission has promoted the New European Bauhaus (European Commission, 2021b). This aims to be a 'bridge' between science, technology, art and culture worlds, with an evolving cultural educational program from 2021-2028. The subjects addressed concern climate change, the use of traditional building techniques, the reuse of materials within a circular economy, solutions for the co-evolution of the built environment and protection of biodiversity, and processes for the regeneration of spaces and social inclusion.

The Concept Paper (New European Bauhaus High-Level Round Table, 2021) further explains the vision for 'a culture and design-led' transition to a 'low-carbon, just and regenerative society', with 'a shift from an economy of growth to an economy of belonging'. It recognises that buildings are 'materially drawn from limited natural resources', while being situated within connected eco-systems, and promotes 'design for re-entanglement' with nature. The New European Bauhaus is the tool to transform the European Green Deal into a tangible and positive experience, an 'open' movement to facilitate and guide the transformation of our society towards three inseparable values: a) Sustainability (from climate goals to circularity, zero pollution, and biodiversity); b) Aesthetics (quality of experience and style, beyond functionality); c) Inclusion (valorising diversity, equality for all, accessibility and affordability). The approach of the initiative has been declared as multilevel (from global to local), participative and transdisciplinary, and is compared with four thematic axes: 1) reconnecting with nature; 2) regaining belongingness; 3) prioritising the places and people that need it the most; 4) promoting long term, life cycle and integrative thinking in the industrial ecosystem.

One of the tools selected by the European Commission was the call for projects launched

for the first New European Bauhaus Prizes (2021): more than 2,000 projects and ideas helped shape the soul of the event. For excellence and creativity, 60 finalists were selected<sup>3</sup> and 20 prizes allocated, 10 for the New European Bauhaus Awards (NEBA) and 10 for the New European Bauhaus Rising Stars (NEBRs) for each of the 10 categories identified: 'Techniques, materials and processes for construction and design'; 'Buildings renovated in a spirit of circularity'; 'Solutions for the co-evolution of built environment and nature'; 'Regenerated urban and rural spaces'; 'Products and life style'; 'Preserved and transformed cultural heritage'; 'Reinvented places to meet and share'; 'Mobilisation of culture, arts and communities'; 'Modular, adaptable and mobile living solutions'; 'Interdisciplinary education models'.

The majority of the 60 finalists were from Spain and Italy<sup>4</sup>, and the 20 most awarded were mostly from Spain with 9 awards (45%), followed by Italy (25%) with 5 awards, Germany with 2 awards (10%) and finally Austria, Slovenia, Portugal and Denmark with one prize (5%) each. For the purposes of this paper, the finalist projects of the New European Bauhaus Prizes 2021 were analyzed according to the use of Nature-based Solutions to understand how and to what extent the greenery can take a central and 'important' role in future projects. Thirteen projects present the use of greenery as 'part and parcel of the project' as 'plant element' or 'construction material'. They concern urban and suburban areas differently densified, different intervention scales, new and existing restored buildings (public or private) of various sizes, use the different forms of greenery indoors and outdoors, on horizontal or vertical surfaces, with traditional or innovative technologies, with a circular approach to enhance biodiversity.

Three projects out of thirteen were found to be the most innovative in articulating the concept of 'green infrastructure' and enhancing its potential to create ecosystem services. The Fantastic Forest Phenomenon, Gardens in the Air and Nest stand out for their innovative and creative characteristics, having been able both to grasp the problems of the respective local contexts and the citizens' needs and to give concrete answers through the integration of nature – and plants in particular – with the built environment at the different urban scales (of the district) and of the building.

The Fantastic Forest Phenomenon is a project for the regeneration of the Lušić district in Karlovac (Croatia), already the winner of the international competition European 15 – Productive Cities in 2019; it aims to rethink spatial strategies, as 'promises of endless growth have resulted in bad spatial compromises and wasted resources', and affects all the urban territory: the new green and grey corridors favour the dynamic flow of people, energy and water throughout the city, generating a mix of natural-artificial elements in which local resources flow circularly, consolidating social relations between the citizens, creating new opportunities for work and economic development, and eliminating waste from the production process (Figg. 8, 9). Vegetables, herbs and flowers are grown in vertical hydroponic greenhouses (to leave space for the dis-

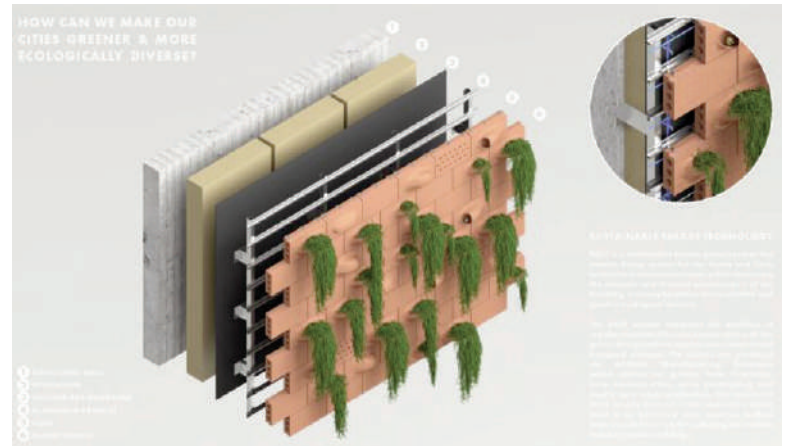


Fig. 12-15 | NEST (source: 2021.prizes.new-european-bauhaus.eu).

tract social infrastructures) using both water collected from nearby paved surfaces and that from the condensation of fog on the glass surfaces, to then be partly marketed and partly used in the production of natural cosmetics or one of the most popular craft beers in Croatia, Karlovačko. The subproducts too are reintroduced in the productive cycle to generate electric energy through small cogeneration plants or as fertilizers.

The Gardens in the Air project aims to bring back nature to the Tres Barrios-Amate district in Seville. It is the poorest district of Spain and its citizens, mostly elders and immigrants, live in apartments of about 50 square meters and an average height of 2.30 meters, distressed by summer temperatures that reach 45 °C for many hours every day. The only relief is provided by the air conditioning, whose external units characterize the urban landscape. On these premises and with the aims to explore the resources and species of the district and to generate new relationships with and among the district's citizens in a perspective of sustainability and ecosystemic balance, a 'creative' project was established (with three works intertwined) with the participation of artists, agronomists, architects, residents and young people of the local A.E.S. Candelaria.

The first work is a vertical garden made with 19 microperforated wood boxes, with patterns recalling the multi-ethnic nature of the residents. Each box covers an air conditioning unit, and it is useful for containing a terracotta pot and plants irrigated with the condensation water produced by the mechanical system (about 1.5 litres per day;

Fig. 10, 11). The second one is the production of perfumes and essential oils extracted from the pruning scraps of plants, in order to generate circular economies that enhance local resources and promote the care for nature in the suburbs and disseminate its ecosystem benefits. Finally, Synergies' polyphony with the sounds of the district and interviews with locals in order to participate in their potential emotional bonds.

NEST (Natural Eco-System Tiles) is an ecological and sustainable system that aims to be the solution to the lack of spaces to enhance biodiversity in an urban (Barcelona) setting, taking advantage of unused vertical surfaces. Other functions join this primary one, including constraining atmospheric pollution and improving the thermal and acoustic performance of external walls. But not exclusively. The modular panels with a parametric design were created to meet the specific needs of the local ecosystem, facilitating the passive and low-maintenance growth of flora, and providing fauna with the necessary spaces to 'nest', thanks to the possibility of varying their size, porosity, structure and consistency (Fig. 12-15). Made with local clay (without toxic components) with an additive digital manufacturing process characterized by modelling flexibility, easy customization, creation of quick prototypes and elimination of production waste, the panels can be used in the new buildings and energy retrofitting interventions on existing buildings.

**Discussion** | 'Nature-based solutions' and 'green infrastructures' offer much potential to deliver eco-

system goods and services, foster a better quality life, improve biodiversity and mitigate climate change, both directly through sequestering and storing carbon and indirectly by inducing a cooling effect, with multiple co-benefits including increased resilience and adaptation (IPCC 2022a, chapter 8, p. 6); in addition, they offer «[...] a smarter and more integrated approach to development, with limited space utilised in an efficient coherent way» (European Commission, 2014, p. 7). However, as Celine Baumann pointed out, «[...] Greenery is unfortunately too often used as an alibi for new developments, by wrapping buildings in green as sole legitimisation of an otherwise unsustainable project» (Block, 2019): while many new projects are incorporating vertical forests, green roofs, urban farms and living walls, they give little benefit – or are even actively harmful – unless deployed properly and sensitively: «[...] Greenery is not per se ecological, and the commodification of nature can lead in fact to reduced biodiversity and higher pollution levels». We have seen how 'an elegant green dress', photovoltaics and an internal park are not enough to compensate for the immense footprint of Apple Park and its surrounds.

In this context, to better benefit from the strength of 'greenery' and get a new ecosystemic balance, we should understand natural systems and their operation more deeply, assisted by landscape architects, biologists and ecologists. Without them, it would be impossible to promote a holistic, inclusive, 'less human-centric' design culture while engaging with local communities. This requires «[...] awareness and empa-

thy for the rich worlds of other species and entities, with deep respect for the complex narratives of places [...] their histories and futures» (New European Bauhaus, 2021, pp. 4, 5). In this regard, the indigenous world view of 'connecting to country' accords equal importance to humans, animals, resources and plants within natural systems<sup>5</sup>. Such a change in mindsets will recognise that the creation of new built forms often tramples upon ecosystems and local cultures, with resource extraction also damaging biodiversity. Thus, the sustainable regeneration of existing habitats should always be preferred to the creation of the so-called 'green' cities.

As exemplified by ecoLogicStudio's 'avant-garde' projects, biophilic design exhibits a highly promising cybernetic relationship between architecture and the built environment via growth of micro-algae capable of serving multiple purposes; these include the use of 'fully-fledged design materials' with high-performance qualities to create 'an adaptive and living concept', even consuming CO<sub>2</sub>. Such approaches are envisaged at various scales, from domestic interiors to offices, buildings – even at city scale, while metabolising pollutants produced by the city. EcoLogicStudio experiments offer new highly sophisticated advances to meet the challenges of urbanisation; the other case studies further explain how symbiosis of greenery and built form may be achieved at different scales, especially if in collaboration with local communities and vernacular practices.

The 2021 New European Bauhaus Prize winners, Nest and Gardens in the Air, successfully pursue symbiosis at microscale, as do ecoLogicStudio's Bio.tech HUT, BioBimbola, and PhotoSynthEtica curtains – with these bottom-up experiments expected to lead to wider applications. In addition, ecoLogicStudio's BioFactory seeks to extend the use of algae as a building form to an urban scale, while PNAT's Fabbrica dell'Aria seeks to purify the air in growing cities. We have also seen how the Fantastic Forest Phenomenon and Barcelona's Green Infrastructure and Biodiversity Plan take a wide view of symbiotic opportunities, by integrating various green and built infrastructures, while Deep Green (Guatemala City) takes this thinking to an even higher level. Involving the collaboration of eco-

LogicStudio with UNDP and academic partners, it opens up a view of the future that employs artificial intelligence, algorithms, and high-resolution data to produce simulated scenarios of sustainable urban development through «[...] an interface between bottom-up processes of self-organisation such as recycling activities [...] and the strategic decision-making that occurs at municipal, national and international level».<sup>6</sup>

**Closing remarks** | To meet the scale and urgency of current global challenges, such as climate change, biodiversity loss and urbanisation, radically different approaches are required. According to the IPCC (2022a, chapter 8, p. 91), «[...] the demand that new and emerging cities will place on natural resource use, materials, and emissions can be minimised and avoided only if urban settlements are planned and built much differently than today [...]». We cannot claim to protect biodiversity via so-called nature-based solutions and green infrastructure, while at the same time planning to build another New York City every 34 days until 2060: the two strategies are clearly contradictory. Therefore, it is imperative to appeal to our sense of responsibility and awareness, acknowledging that we live in a world with finite resources; hence, while meeting our needs, we must build and consume less in order to minimise the human footprint on ecosystems at the micro, meso and macro scales.

In this regard, the recent IPCC report on mitigation of climate change introduced the concept of 'sufficiency' – avoiding demand for energy, materials, land and water while delivering well-being for all within planetary boundaries – within Chapter 9 and the Summary for Policy Makers (IPCC, 2022a). Complemented by a new Chapter 5 on Demand, Services, and Social Aspects of Innovation, sufficiency presents an opportunity to question the demand for new structures at the outset, and to consider alternative solutions that may utilise digital services requiring less real estate, reducing floor area per capita in housing and other buildings, multi-functionality of space, and repurposing and refurbishing existing stock. Based on this new paradigm 'sufficiency and demand-side solutions' are critically important in arresting the steep upward trajectory of curves related to climate change, biodiversity loss, land sys-

tem change, in addition to global inequity and meeting the SDGs.

At the same time, nature-based solutions and green infrastructures should not be considered in isolation from the built environment. These should be viewed as connected elements in local, urban and global systems, from which synergies may be uncovered. Such holistic approaches, enabled by frontier technologies, were demonstrated by ecoLogic Studio with the Deep Green and in addition to other case studies at different scales. It is important to recognise and surmount barriers to such forward-looking approaches; these include widespread mindsets that view humanity as superior to other living beings and the environment, the false expectation that climate and other challenges may be met while pursuing endless economic growth, and the view of many in the construction and development fields that nature may be trampled upon to satisfy these ends. Nonetheless, the path towards the ecological transition is traced: the recent reports of the IPCC (2022a, b) highlight 'aggressive and immediate' policy changes which, if reinforced and implemented, offer a ray of hope for the future of our planet.

## Acknowledgements

The contribution, resulting from a common reflection, is to be assigned in equal parts to both Authors.

## Notes

1) For more information on Seoul, '10 minute' city, see the webpage: [weforum.org/videos/24681-10-minute-city-planned-for-seoul-south-korea-in-2024#:~:text=The%20new%20125%2Dacre%20development,duer%20for%20completion%20in%202024](https://weforum.org/videos/24681-10-minute-city-planned-for-seoul-south-korea-in-2024#:~:text=The%20new%20125%2Dacre%20development,duer%20for%20completion%20in%202024) [Accessed 20 April 2022].

2) For an overview of the current green policies of cities see Opla website: [opla.eu/casestudy/](https://opla.eu/casestudy/) [Accessed 20 April 2022]. Oppla is an archive with the latest consideration on natural capital, ecosystem services, and nature-based solutions. It is supported by the European Commission under the Environment (including climate change) – Theme

of the 7th Framework Programme for Research and Technical Development.

3) The winner and finalist projects of the New European Bauhaus Prize 2021 have been published on the webpage: [prizes.new-european-bauhaus.eu/finalists](https://prizes.new-european-bauhaus.eu/finalists) [Accessed 20 April 2022].

4) In detail, of the 60 finalist projects, 21 were from Spain, 17 from Italy, 8 from Portugal, 4 from Germany, 2 from Poland and 1 each from Austria, France, Romania, Cyprus, Belgium, Slovenia, Croatia and Denmark. There are some projects worth mentioning. Uliia Garden, winner of the 'New European Bauhaus Awards' in the category 'Reinvented places to meet and share' and Socio-Environmental Inclusion, finalist of the 'New European Bauhaus Rising Stars' in the categories 'Regenerated urban and rural spaces' and 'Reinvented places to meet and share' where social inclusion is the core element of the project, via the cultivation of vegetable gardens and medicinal herbs.

Then, the project Via Appia – Heritage and nature for all, finalist of the 'New European Bauhaus Rising Stars' in the category 'Preserved and transformed cultural heritage', where nature and archaeology merge and the need for sustainable mobility is promoted both for better use and better preservation. The urban regeneration project The Fantastic Forest Phenomenon, finalist of the 'New European Bauhaus Rising Stars' in the category 'Solutions for the co-evolution of built environment and nature'. Moreover, roof gardens and vertical garden walls traditional and innovative solutions, with the projects Garden in the Air, winner of the 'New European Bauhaus Awards' in the category 'Buildings renovated in a spirit of circularity', Xifre Rooftop Floating Wild Garden, winner of the 'New European Bauhaus Awards' in the category 'Preserved and transformed cultural heritage' and also a finalist in the categories 'Buildings renovated in a spirit of circularity', 'Solutions for the co-evolution of built environment and

nature', 'Regenerated urban and rural spaces' and 'Reinvented places to meet and share', and NEST, winner of 'New European Bauhaus Rising Stars' in the category 'Solutions for the co-evolution of built environment and nature'. Moreover, the gardens between public and private projects Zero Waste House, winner of the 'New European Bauhaus Rising Stars' in the category 'Buildings renovated in a spirit of circularity' and The Garden House in the City, finalist of the 'New European Bauhaus Awards' in the category 'Solutions for the co-evolution of built environment and nature'. And finally, the use of components and materials of natural origin, especially wood, as the projects: ROSANA, winner of the 'New European Bauhaus Awards' in the category 'Solutions for the co-evolution of built environment and nature', Inhabiting an Enclosed Landscape, finalist of the 'New European Bauhaus Rising Stars' in the categories 'Techniques, materials and processes for construction and design', 'Buildings renovated in a spirit of circularity', 'Solutions for the co-evolution of built environment and nature' and 'Regenerated urban and rural spaces' and Origami Pavilion, finalist of the 'New European Bauhaus Rising Stars' in the category 'Modular, adaptable and mobile living solutions'.

5) For more information see the webpage: [governmentarchitect.nsw.gov.au/projects/designing-with-country](http://governmentarchitect.nsw.gov.au/projects/designing-with-country) [Accessed 20 April 2022].

6) For more information see the webpage: [msd.unimelb.edu.au/the-climate-imaginary/ecologicstudio/deep-green](http://msd.unimelb.edu.au/the-climate-imaginary/ecologicstudio/deep-green) [Accessed 15 May 2022].

## References

- Ajuntament de Barcelona (2013), *Barcelona Green Infrastructure and Biodiversity Plan 2020*. [Online] Available at: [ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/sites/default/files/Barcelona%20green%20infrastructure%20and%20biodiversity%20plan%202020.pdf](http://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/sites/default/files/Barcelona%20green%20infrastructure%20and%20biodiversity%20plan%202020.pdf) [Accessed 12 May 2022].
- Block, I. (2019), "Greenery is often 'sole legitimisation' for unsustainable buildings says Céline Baumann", in *dezeen*, 31/10/2019. [Online] Available at: [dezeen.com/2019/10/31/celine-baumann-landscape-architecture/](http://dezeen.com/2019/10/31/celine-baumann-landscape-architecture/) [Accessed 12 May 2022].
- Camps-Calvet, M., Langemeyer, J., Calvet-Mir, L. and Gómez-Baggethun, E. (2016), "Ecosystem services provided by urban gardens in Barcelona, Spain – Insights for policy and planning", in *Environmental Science & Policy*, vol. 62, pp. 14-23. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.envsci.2016.01.007](https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.01.007) [Accessed 12 May 2022].
- de Freitas Netto, S. V., Sobral, M. F. F., Ribeiro, A. R. B. and da Luz Soares, G. R. (2020), "Concepts and forms of greenwashing – A systematic review", in *Environmental Science Europe*, vol. 32, article 19, pp. 1-12. [Online] Available at: [doi.org/10.1186/s12302-020-0300-3](https://doi.org/10.1186/s12302-020-0300-3) [Accessed 12 May 2022].
- European Commission (2021a), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Forging a Climate-Resilient Europe – The new EU Strategy on Adaptation to Climate Change*, document 52021DC0082, 82 final. [Online] Available at: [eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX:52021DC0082](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX:52021DC0082) [Accessed 12 May 2022].
- European Commission (2021b), *New European Bauhaus – Beautiful, Sustainable, Together*. [Online] Available at: [europa.eu/new-european-bauhaus/index\\_en](http://europa.eu/new-european-bauhaus/index_en) [Accessed 12 May 2022].
- European Commission (2019a), *Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Review of progress on implementation of the EU Green Infrastructure Strategy*, document 52019DC0236, 236 final. [Online] Available at: [eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2019:236:FIN](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2019:236:FIN) [Accessed 12 May 2022].
- European Commission (2019b), *Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal*, document 52019DC0640, 640 final. [Online] Available at: [eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN) [Accessed 12 May 2022].
- European Commission (2014), *Building a Green Infrastructure for Europe*, Publications Office. [Online] Available at: [doi.org/10.2779/54125](https://doi.org/10.2779/54125) [Accessed 12 May 2022].
- European Commission (2013), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Green Infrastructure (GI) – Enhancing Europe's Natural Capital*, document 52013DC0249, 249 final. [Online] Available at: [eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52013DC0249](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52013DC0249) [Accessed 12 May 2022].
- Faivre, N., Fritz, M., Freitas, T., Boissezon, B. and Vandewoestijne, S. (2017), "Nature-based solutions in the EU – Innovating with nature to address social, economic and environmental problems", in *Environmental Research*, vol. 159, pp. 509-518. [Online] Available at: [dx.doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.032](https://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.032) [Accessed 12 May 2022].
- IEEP (2016), *The Health and Social Benefits of Nature and Biodiversity Protection – Annex 1 – 20 Case Studies*. [Online] Available at: [ec.europa.eu/environment/nature/knowledge/pdf/Health%20and%20Social%20Benefits%20of%20Nature%20-%20case%20studies.pdf](http://ec.europa.eu/environment/nature/knowledge/pdf/Health%20and%20Social%20Benefits%20of%20Nature%20-%20case%20studies.pdf) [Accessed 12 May 2022].
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022a), *Climate Change 2022 – Mitigation of Climate Change*, Switzerland. [Online] Available at: [report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_FinalDraft\\_FullReport.pdf](http://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_FullReport.pdf) [Accessed 12 May 2022].
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022b), *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability – Summary for Policymakers*, Switzerland. [Online] Available at: [ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGII\\_FinalDraft\\_FullReport.pdf](http://ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_FullReport.pdf) [Accessed 12 May 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/](http://99percentinvisible.org/article/renderings-vs-reality-rise-tree-covered-skyscrapers/) [Accessed 12 May 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](http://chaire-eti.org/wp-content/uploads/2019/12/Livre-Blanc-2019.pdf) [Accessed 12 May 2022].
- New European Bauhaus High-Level Round Table (2021), *New European Bauhaus Concept Paper*, NEB High-Level Round Table, 30 June. [Online] Available at: [europa.eu/new-european-bauhaus/high-level-round-table-visions\\_en](http://europa.eu/new-european-bauhaus/high-level-round-table-visions_en) [Accessed 12 May 2022].
- Olson, E. (2021), "Plants on Rooftops – Greenwashing in Architecture", in *The Climate Change Review*, 08/02/2021. [Online] Available at: [ucsclimatereview.org/post/plants-on-rooftops-greenwashing-in-architecture](https://ucsclimatereview.org/post/plants-on-rooftops-greenwashing-in-architecture) [Accessed 12 May 2022].
- Parker, J. and Zingoni de Baro M. E. (2019), "Green Infrastructure in the Urban Environment – A Systematic Quantitative Review", in *Sustainability*, vol. 11, issue 11, 3182, pp. 1-20. [Online] Available at: [doi.org/10.3390/su11113182](https://doi.org/10.3390/su11113182) [Accessed 12 May 2022].
- Pawlowska K. and B. Jawecki (2021), "The determination of priority areas for the construction of green roofs with use of the urban valorisation method", in *Sustainability*, vol. 13, 13227, pp. 1-24. [Online] Available at: [doi.org/10.3390/su132313227](https://doi.org/10.3390/su132313227) [Accessed 12 May 2022].
- Poletto, M. (2018), *The Urbansphere – Architecture in the age of ubiquitous computing*, Doctoral Thesis, RMTI University. [Online] Available at: [researchrepository.rmit.edu.au/esploro/outputs/doctoral/The-Urbansphere-Architecture-in-the-age/9921861966101341](http://researchrepository.rmit.edu.au/esploro/outputs/doctoral/The-Urbansphere-Architecture-in-the-age/9921861966101341) [Accessed 12 May 2022].
- Savas, W. (2016), "Green Infrastructure and Urban Biodiversity", in *Landscape Architecture Frontiers*, vol. 4, issue 3, pp. 40-51. [Online] Available at: [journal.hep.com.cn/laf/EN/Y2016/V4/I3/40](http://journal.hep.com.cn/laf/EN/Y2016/V4/I3/40) [Accessed 12 May 2022].
- Shen, Z., Li, Y., Yang, K. and Chen, L. (2019), "The emerging cross-disciplinary studies of landscape ecology and biodiversity in China", in *Journal of Geographic Science*, vol. 29, issue 7, pp. 1063-1080. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/s11442-019-1645-7](https://doi.org/10.1007/s11442-019-1645-7) [Accessed 12 May 2022].
- Tran, V. V., Park, D. and Lee, Y.-C. (2020), "Indoor Air Pollution, Related Human Diseases, and Recent Trends in the Control and Improvement of Indoor Air Quality", in *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, issue 8, article 2927, pp. 1-27. [Online] Available at: [doi.org/10.3390/ijerph17082927](https://doi.org/10.3390/ijerph17082927) [Accessed 12 May 2022].
- UN – United Nations (2022), *Goal 11 – Make cities inclusive, safe, resilient and sustainable*. [Online] Available at: [unric.org/en/sdg-11/](http://unric.org/en/sdg-11/) [Accessed 12 May 2022].
- UN Environment and IEA – International Energy Agency (2017), *Global Status Report 2017 – Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*. [Online] Available at: [unep.org/news-and-stories/story/buildings-and-construction-sector-grows-time-running-out-cut-energy-use-and](http://unep.org/news-and-stories/story/buildings-and-construction-sector-grows-time-running-out-cut-energy-use-and) [Accessed 12 May 2022].
- Valenti, A. and Pasquero, C. (2021), "La seconda vita dei micro organismi – Il design bi-digitale per una nuova ecologia dello spazio e del comportamento | The second life of micro-organisms – Bio-digital design for a new ecology of space and behaviour", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 9, pp. 42-53. [Online] Available at: [doi.org/10.19229/2464-9309/942021](https://doi.org/10.19229/2464-9309/942021) [Accessed 12 May 2022].
- Xing, Y., Jones, P. and Donnison, I. (2017), "Characterisation of nature-based solutions for the built environment", in *Sustainability*, vol. 9, issue 1, 149, pp. 1-20. [Online] Available at: [doi.org/10.3390/su9010149](https://doi.org/10.3390/su9010149) [Accessed 12 May 2022].
- Ying, J., Zhang, X., Zhang, Y. and Bilan, S. (2021), "Green infrastructure – Systematic literature review", in *Economic Research – Ekonomska Istraživanja*, pp. 1-24. [Online] Available at: [doi.org/10.1080/1080/1331677X.2021.1893202](https://doi.org/10.1080/1080/1331677X.2021.1893202) [Accessed 12 May 2022].
- Zhang, K. and Chui, T. F. M. (2019), "Linking hydrological and bioecological benefits of green infrastructures across spatial scales – A literature review", in *Science of the Total Environment*, vol. 646, pp. 1219-1231. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.355](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.355) [Accessed 12 May 2022].



## PROGETTAZIONE SIMBIOTICA PER UN ECOSISTEMA URBANO RESILIENTE

### SYMBIOTIC DESIGN FOR A RESILIENT URBAN ECOSYSTEM

Francesca Olivieri

#### ABSTRACT

Numerose evidenze scientifiche dimostrano che ci troviamo attualmente immersi in una gravissima emergenza ambientale, dovuta principalmente alle ripercussioni causate dai cambiamenti climatici in atto. La sfida climatica ed ambientale si esaspera nelle città, sistemi fragili già prima dei fenomeni estremi, dove vive attualmente la maggior parte della popolazione, con una tendenza in netto aumento. Una delle strategie con maggior potenziale per contribuire alla transizione delle città verso un modello più resiliente, sostenibile e sano, è l'integrazione di soluzioni basate sulla natura nell'ambiente costruito, se realizzata con chiari obiettivi funzionali. Affinché questo sia possibile lo spazio urbano e gli edifici devono essere concepiti come sistemi viventi, pensati cioè sulla base di un rapporto simbiotico con la natura e progettati per generare un impatto positivo sull'ambiente circostante.

Numerous sources of scientific evidence show that we are currently facing a profoundly serious environmental emergency, mainly due to the repercussions caused by ongoing climatic changes. The climate and environmental challenges are exacerbated in cities: fragile systems faced with extreme climate events where most of the population currently lives and with a sharply increasing trend. One of the strategies with the greatest potential to contribute to the transition of cities towards a more resilient, sustainable, and healthy model is the integration of Nature-based Solutions in built-up environments if applied with clear functional objectives. For this to be possible, urban space and buildings must be imagined as living systems, that is, created based on a symbiotic relationship with nature and designed to generate a positive impact on the surrounding environment.

#### KEYWORDS

cambiamento climatico, qualità dell'aria, isola di calore, soluzioni basate sulla natura, simbiosi

climate change, air quality, heat island effect, nature-based solutions, symbiosis

**Francesca Olivieri**, PhD and Architect, is an Associate Professor of Architectural Technology at the Department of Construction and Architectural Technology (DCTA), Universidad Politécnica de Madrid (Spain). She is an expert in Nature-based Solutions and their potential for improving the energy performance of buildings, adapting cities to climate change and improving people's well-being. E-mail: francesca.olivieri@upm.es

Inger Andersen, Direttrice Esecutiva dello United Nations Environmental Program (UNEP) e precedentemente Direttrice Generale della International Union for Conservation of Nature (IUCN), commentando la seconda parte del VI Rapporto di Valutazione (AR6) del Gruppo Intergovernativo di esperti sui cambiamenti climatici, presentato ufficialmente nel febbraio di quest'anno (IPCC, 2022) ha affermato che per secoli l'umanità ha trattato la natura come il suo peggior nemico sebbene possa essere la sua salvatrice. Il VI Rapporto si concentra principalmente sull'analisi degli impatti negativi generati dal riscaldamento globale, sulla capacità di adattamento di persone ed ecosistemi e sulla loro crescente vulnerabilità ante la situazione attuale. Le conclusioni del Rapporto, che costituisce una sintesi dei lavori scientifici svolti da centinaia di studiosi in tutto il mondo, si basano su prove scientifiche chiare secondo cui il cambiamento climatico costituisce un'evidente minaccia per il benessere umano e la salute del pianeta; a differenza dei Rapporti precedenti, le cui conclusioni si basavano principalmente sui risultati di modelli ed estrapolazioni scientifiche relative a possibili scenari futuri, per la prima volta analizza la situazione presente, che assume una connotazione a dir poco sconcertante.

Attualmente l'aumento della temperatura media globale di circa 1,1 °C ha causato danni di vasta portata a sistemi naturali e ambienti di vita e si stima che più di 3 miliardi di persone vivano al giorno d'oggi in condizioni di particolare vulnerabilità ai cambiamenti climatici, in quanto abitano in regioni duramente colpite dalla crisi climatica e ambientale (IPCC, 2022). Essendo il problema di tale portata e colpendo in molti casi regioni del mondo socialmente instabili, già sottoposte a tensioni politiche e economiche, le conseguenze del riscaldamento globale vanno oltre gli effetti ambientali da esso causati: il suo impatto negativo sulla produttività economica scatena infatti innumerevoli problemi di carattere sociale quali lotte, migrazioni e guerre. In uno studio dell'Università di Berkeley (Hsiang, Burke and Miguel, 2013) si dimostra come l'aumento delle temperature medie e delle precipitazioni elevino la probabilità di uno conflitto e la International Organization for Migration calcola che nei prossimi 30 anni, circa 200 milioni di persone saranno costrette ad abbandonare i propri luoghi di origine per spostarsi definitivamente verso altre zone all'interno dello stesso Paese o all'estero per conseguenze derivate dal riscaldamento globale (Myers, 2005).

Nonostante, soprattutto negli ultimi anni, l'adattamento e la mitigazione del cambiamento climatico rappresentino temi centrali nel dibattito internazionale, molto spesso le parole non sono seguite dai fatti; al giorno d'oggi gli studiosi concordano sul fatto che esiste un notevole divario tra la risposta politica che viene data al problema del cambiamento climatico e ciò che sarebbe necessario fare (National Intelligence Estimate, 2021). Capita spesso che azioni pilota con conseguenze di piccola portata occupino le prime pagine dei giornali e vengano spettacolarizzate ed esaltate come risolutive, quando invece le analisi scientifiche dimostrano chiaramente la necessità di un'operazione drastica e urgente, realizzata in partenariato tra governi, settore pri-

vato e società civile, che possa generare un perentorio e reale cambio di tendenza. Laddove gli sforzi compiuti nella pianificazione di azioni volte all'adattamento abbiano portato a una riduzione delle conseguenze estreme, si registra comunque che gli effetti del cambiamento climatico aumentano a un ritmo che supera i progressi fatti nell'adattamento (United Nations Environment Programme, 2021). Le conseguenze a breve termine del cambiamento climatico stanno avendo effetti molto più severi di quanto si sia pensato, essendo state fino ad ora sottovalutate le conseguenze del forte aumento del riscaldamento globale (United Nations Human Settlements Programme, 2011).

C'è infine un'altra questione da considerare: sebbene sia essenziale concentrare gli sforzi sulla capacità di adattamento a breve termine, le azioni rapide – che possono tra l'altro alimentare un falso senso di sicurezza – potrebbero compromettere i progetti a lungo termine. Sono i cosiddetti rischi del 'disadattamento', nei quali le iniziative intraprese per far fronte ai possibili danni derivati dai cambiamenti climatici riducono la possibilità di un adattamento trasformativo, che sarebbe l'unico in grado di migliorare la situazione a lungo termine. Come sottolinea l'Obiettivo 17 dell'Agenda 2030 (UNDP, 2015; United Nations, 2015), affinché gli Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile possano innescare trasformazioni radicali, è necessario creare collaborazioni inclusive costruite su una visione comune che metta al centro le persone ed il pianeta. Così come succede per il resto degli Obiettivi, la nostra società sarà in grado di procedere verso il conseguimento dell'Obiettivo 13 – Lotta contro il Cambiamento Climatico quando inizierà ad adottare soluzioni coordinate a livello internazionale coinvolgendo tutti gli stakeholders.

**Città e cambiamento climatico** | Se il problema del cambiamento climatico rappresenta una sfida globale, che non rispetta i confini nazionali e le cui conseguenze sono visibili in ogni parte del pianeta, gli studiosi concordano sul fatto che le città sono le più vulnerabili di fronte a questi cambiamenti poiché in esse si percepiscono con maggiore intensità gli effetti (Tapia et alii, 2017). Per le città che si trovano a latitudini intermedie, com'è il caso delle città italiane e in generale delle città dell'area mediterranea, questo si traduce in fenomeni quali innalzamento delle temperature, ondate di calore più frequenti e di maggiore intensità, precipitazioni irregolari e violente seguite da lunghi periodi di siccità e riduzione della stagione fredda, senza dimenticare l'innalzamento costante del livello del mare che nei prossimi decenni metterà a rischio varie città sulle coste italiane (Guida, 2021).

Si sta già sperimentando in modo vertiginoso la probabilità di dover far fronte a eventi meteorologici estremi, distinti a seconda della latitudine geografica tra fenomeni meteorologici, siccità più intense, carenze idriche, ondate di calore, alluvioni e tempeste più violente e stagioni temporalesche più lunghe (Castellari et alii, 2014), i cui costi graveranno sui residenti più vulnerabili (persone malate, anziane e meno abbienti), esasperando le disuguaglianze non solo nei Paesi poveri, ma anche in quelli più ricchi e industrializzati. Oltre agli eventi estremi sopra descritti, c'è un

altro fenomeno che interessa le città: anche se si dovesse riuscire a limitare il riscaldamento globale al di sotto dei 2 °C, si prevede che gli effetti del cambiamento climatico porteranno a uno spostamento delle zone climatiche e questo comporterà un cambiamento importante nel clima della maggior parte delle città (Bastin et alii, 2019).

Il clima di un dato luogo del pianeta è definito da fattori geografici quali posizione, topografia e idrografia, ognuno dei quali si declina in vari elementi e parametri che insieme differenziano le condizioni climatiche di un'area (Fig. 1), tra cui l'irraggiamento solare, la temperatura dell'aria, il vento e l'umidità che si modificano in un contesto urbano; morfologia urbana, proprietà termiche dei materiali da costruzione, presenza o assenza di vegetazione e attività umane hanno un impatto sul clima urbano, poiché ogni struttura urbana crea un clima modificato attorno e su se stessa.

In Europa le aree urbane si trovano sempre più spesso a fronteggiare inondazioni dovute a picchi di precipitazioni e carenze idriche causate da lunghi periodi di siccità, con sistemi di drenaggio e approvvigionamento urbano centralizzati che richiedono molta manodopera e costi di gestione elevati. In risposta a tale criticità la startup Field Factors della Technische Universiteit Delft (TU Delft), in collaborazione con l'Universidad Politécnica de Madrid, ha implementato Bluebloqs (Figg. 2, 3), un progetto coordinato dalla Prof.ssa Francesca Olivieri e finanziato dalla Commissione Europea nel 2019 all'interno del bando Climate KIC Demonstrator. Bluebloqs è una soluzione scalabile basata sulla natura per la gestione decentralizzata delle acque meteoriche nelle aree urbane che evita l'allagamento delle strade e garantisce la disponibilità di acqua dolce, regimentando, trattando e immagazzinando localmente l'acqua piovana attraverso un sistema idrico circolare integrato.

Il sistema può essere implementato a livello di edificio o di quartiere con un impegno ridotto di spazio e aggiungendo la vegetazione all'infrastruttura esistente; in tal modo Bluebloqs ha un impatto positivo nel catalizzare la transizione verso un ciclo urbano naturale dell'acqua e verso città verdi e resilienti. Uno dei quattro prototipi, frutto della concertazione con gli stakeholder del Comune di Madrid e con i proprietari della torre Caleido, è stato realizzato nell'omonimo Parco di Madrid; valutata la fattibilità tecnica in relazione allo specifico contesto geologico e climatico e quella socio-istituzionale, il gruppo di ricerca UPM ha definito le linee guida per l'implementazione del sistema idrico in una rete resiliente prima a livello di quartiere e successivamente per l'intero parco.

**Isola di calore e ondata di calore** | Il cosiddetto effetto 'isola di calore' che si verifica a seguito dell'aumento del flusso di calore sensibile dalla superficie terrestre all'atmosfera nelle città e nelle aree circostanti, soprattutto durante il periodo notturno, è dovuto alle caratteristiche fisiche dello spazio costruito, principalmente caratterizzato da superfici impermeabili e a elevata capacità di accumulo termico, ai quali si aggiungono fonti di calore ed emissioni di origine antropica.

L'isola di calore può essere definita come la differenza in un dato momento tra un punto rap-

presentativo del centro urbano e un altro punto non urbano o periferico; questo fenomeno è amplificato dalla crescita urbana e aggravato dalla massiccia sostituzione delle aree vegetali con edifici e superfici impermeabili che assorbono calore durante il giorno e lo restituiscono sotto forma di radiazione infrarossa durante la notte, senza permettere il raffrescamento notturno che è funzionale a regolare termicamente l'ecosistema urbano. In climi temperati l'effetto delle ondate di calore, della siccità e delle piogge torrenziali ha un impatto molto importante, soprattutto nei periodi estivi, incidendo sulle condizioni di abitabilità delle città e sulla salute dei suoi occupanti. Sebbene l'intensità dell'isola di calore in alcune città non sia aumentata con il cambiamento climatico, l'aumento generale della temperatura ha trasformato il fenomeno dell'isola di calore in un nuovo rischio climatico, per l'effetto negativo dell'eccesso di calore notturno che si verifica d'estate nei centri urbani, in particolare quando avviene in concomitanza con un'ondata di calore, aggravando lo stress termico a cui è sottoposta la popolazione.

In Spagna, la Agencia Estatal de Meteorología segnala, negli avvisi meteorologici per il rischio derivato dalle temperature elevate, anche le temperature notturne quando non scendono al di sotto dei 25 °C (Torres Benayas, 2021) poiché le 'notti torride', dannose per la salute degli anziani e delle persone affette da malattie croniche tanto quanto le temperature massime registrate nelle ore diurne, contribuiscono significativamente all'aumento di morbilità e mortalità della popolazione urbana (Royé et alii, 2021); possiamo dunque dedurre che anche se il riscaldamento globale non aumenta l'intensità delle isole di calore, aggrava gli effetti negativi sulla salute umana durante la stagione estiva.

Madrid è una città nella quale l'effetto combinato di isola di calore e ondata di calore causa importanti problemi alla popolazione vulnerabile e non solo; giardini verticali e coperture verdi sono tra le soluzioni più efficaci per combattere questi fenomeni nelle aree urbane, dovuti soprattutto alla carenza di vegetazione a livello di suolo. Una ricerca sviluppata da un Gruppo interdisciplinare dell'Universidad Politécnica de Madrid (UPM), coordinato dalla Prof.ssa Francesca Olivieri, ha come principale obiettivo quantificare la riduzione dei valori di temperatura ambientale nelle zone limitrofe a un giardino verticale<sup>1</sup>. Il retrofit energetico di un piccolo edificio del Campus (Fig. 4), convertito nella sede dell'Innovation and Technology for Development Cen-



**Fig. 1** | View of a Mediterranean landscape in Girona, Spain (source: flickr.com, 2022).

ter (itd-UPM), è stata l'occasione per inserire in parte delle facciate sud ed ovest un giardino verticale modulare (Fig. 5), un sistema di sensori e una stazione meteo, che misurano in tempo reale differenti variabili ambientali sia all'interno che all'esterno. La sperimentazione è ancora in corso ma i risultati ottenuti fino a questo momento dimostrano che le maggiori riduzioni di temperatura si ottengono nei momenti della giornata nei quali i giardini verticali sono sottoposti a un maggior irraggiamento, ovvero a sud nelle ore centrali della giornata e a ovest nel tardo pomeriggio (Sendra-Arranz et alii, 2020).

**Qualità dell'aria** | Sempre nelle città si gioca un'altra importantissima sfida dei nostri giorni, quella del miglioramento della qualità dell'aria che respiriamo: secondo i dati pubblicati dalla European Environment Agency (EEA, 2019) – il centro dati dell'Unione Europea sull'inquinamento atmosferico (Fig. 6) che contribuisce alla valutazione delle politiche dell'UE in materia di inquinamento atmosferico e allo sviluppo di strategie di lungo termine per migliorare la qualità dell'aria in Europa – circa il 90% degli abitanti delle città è esposto a concentrazioni di inquinanti superiori ai livelli ritenuti dannosi per la salute. L'inquinamento atmosferico è tra principali cause di decesso prematuro e di malattia con elevato rischio sanitario per malattie cardiovascolari, ictus, malattie polmonari e cancro ai polmoni.

Anche l'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO, 2021) dichiara che l'inquinamento dell'aria è attualmente responsabile di 7 milioni di morti premature nel mondo ogni anno e con le nuove linee guida, pubblicate a settembre del 2021, si rivolge a tutti i Paesi del mondo fornendo valori per la qualità dell'aria più stringenti degli standard in vigore in alcune delle città più inquinate il cui livello di inquinamento è anche tre volte superiore ai valori indicati; sebbene i valori indicati dall'OMS non siano legalmente vincolanti dovrebbero essere presi in considerazione per ispirare le legislazioni nazionali e comunitarie in questo campo.

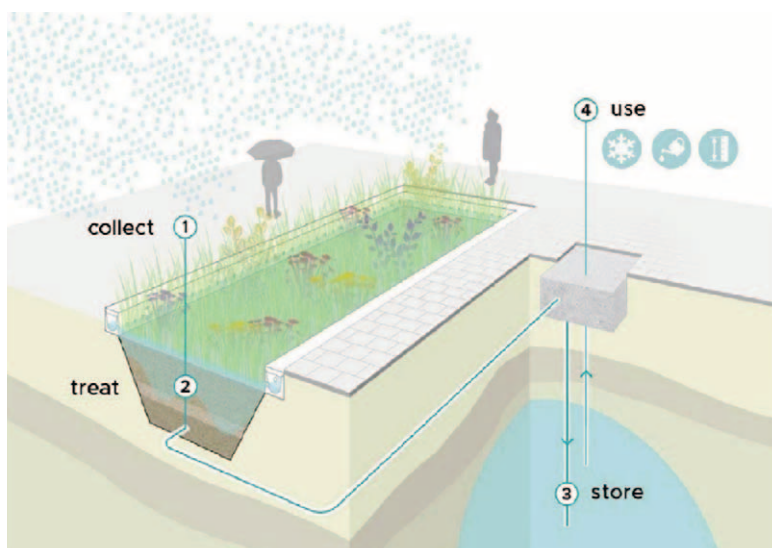
I nuovi valori, fondati su recenti studi sulle relazioni tra inquinamento atmosferico e salute umana, sono inferiori rispetto a quelli indicati nel 2005 (WHO, 2005): la media annuale del particolato fine (PM2.5) passa da 10 a 5 µg/m<sup>3</sup>, quella del particolato inalabile (PM10) da 20 a 15 µg/m<sup>3</sup>, il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) scende drasticamente da 40 a 10 µg/m<sup>3</sup> mentre per il monossido di carbonio (CO) viene suggerito il limite giornaliero di 4 µg/m<sup>3</sup>. È sufficiente confrontare questi dati con quelli registrati giornalmente nelle nostre città per verificare che, sebbene da qualche anno il calo dell'inquinamento segue una tendenza a lungo termine, siamo ben lontani dal raggiungere questi nuovi valori di riferimento. Bill Wolverton, ricercatore della NASA ha condotto con il suo gruppo diversi studi per identificare sistemi di purificazione dell'aria nelle stazioni spaziali e successivamente negli edifici tra la fine degli anni Ottanta e l'inizio degli anni Novanta (Wolverton, Johnson and Bounds, 1989; Wolverton and Wolverton, 1993; Wolverton and Nelson, 2020), studi che potrebbero essere applicati in parte alle nostre città, dato che nella maggior parte dei casi esse si sono sviluppate senza nessuna relazione logica con gli spazi naturali.

I fenomeni descritti assumono maggiore rilevanza se si considera che in Europa attualmente oltre il 75% della popolazione vive in aree urbane e si prevede che questa percentuale cresca fino all'80% nei prossimi trent'anni; a scala planetaria la situazione non è molto distinta, si prevede infatti che circa il 66% della popolazione mondiale vivrà nelle città entro il 2050 e che il 90% dell'aumento della popolazione urbana avverrà in Africa e in Asia (European Commission – Joint Research Centre, 2020). L'urbanizzazione nei Paesi in via di sviluppo è infatti una delle tendenze più importanti del nostro tempo: la crescita delle città è più veloce che in passato, la popolazione è essenzialmente povera e i governi degli Stati dove queste trasformazioni stanno avvenendo sono deboli e instabili; è quindi evidente che la battaglia climatica si vincerà o si perderà nelle città, come sostenuto da António Guterres, Segretario Generale delle Nazioni Unite nel vertice C40 celebrato a Copenaghen nel 2019.<sup>2</sup>

Una delle possibili soluzioni che possono contribuire al miglioramento della qualità dell'aria è il MUAC (Modules for Urban Air Cleaning), un progetto finanziato dalla Commissione Europea nel 2018 con il bando Climate KIC Pathfinder. Il MUAC (Figg. 7, 8), sviluppato da un Gruppo di lavoro della Universidad Politécnica de Madrid coordinato dalla Prof.ssa Francesca Olivieri: è un modulo per la purificazione dell'aria urbana efficiente, di facile e rapida installazione, le cui dimensioni e leggerezza lo rendono adatto alla collocazione su quasi tutti i marciapiedi poiché occupa una superficie di soli 0,49 mq. La sostenibilità del modulo è garantita da una struttura metallica e da griglie di plastica riciclabili al 100%, che riducono l'impronta di carbonio alla fine del suo ciclo di vita, ma anche dall'impiego della vegetazione locale, meno sensibile ai cambiamenti meteorologici.

Il MUAC rappresenta una soluzione basata sulla natura per creare città verdi e resilienti, un elemento importante del paesaggio urbano che contribuisce a compensare con la vegetazione le grandi superfici pavimentate e a ridurre le emissioni di gas serra (grazie al sistema di depurazione naturale capace di assorbire particelle come PM2.5 e PM10 e gas come NO<sub>x</sub>, CO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>), migliora il microclima urbano in termini di effetti delle isole di calore, regola i parametri termoisometrici e smorza l'inquinamento acustico. Il MUAC dispone di un monitor che riporta in tempo reale i dati di inquinamento la cui funzione è determinare un impatto indiretto sulla cittadinanza sensibilizzandola attraverso la democratizzazione delle informazioni sull'inquinamento verso una mobilità green.

**Città e Natura** | Sulla base delle evidenze descritte nei paragrafi precedenti, numerose organizzazioni internazionali hanno messo a punto approcci e strategie per guidare gli attori coinvolti nel mettere in atto azioni di adattamento e mitigazione degli effetti del cambiamento climatico specialmente nelle aree urbane, dove cioè si rilevano gli effetti peggiori (CDP, 2021). Gli esempi mostrati nei paragrafi precedenti indicano che unachiamate a contribuire alla transizione delle città verso un modello più inclusivo, sicuro, resiliente, sostenibile e sano si basa sull'in-



**Fig. 2 |** The model represented is from the Bluebloqs Circular Water Systems Demonstration project that was installed in the Caledido Park in Madrid, in collaboration with the Universidad Politécnica de Madrid and the Madrid City Council. It is a European project funded by the EIT Climate KIC that seeks to capture, purify and reuse rainwater in cities, creating water reserves within the urban fabric (source: fieldfactors.com, 2022).

**Fig. 3 |** Detail of the Bluebloqs system installed in the Caledido Park, Madrid.

tegrazione di elementi vegetali nel tessuto urbano (Saiz, Olivieri and Neila, 2016) non per fini estetici, come fatto prevalentemente fino ad ora<sup>3</sup>, ma con chiari obiettivi funzionali (Tatano, 2008), come sistemi attivi che forniscono alla città gli elementi necessari per metabolizzare e regolare gli agenti inquinanti, migliorare la loro capacità di adattamento e mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici.

Secondo questa visione gli spazi urbani, in quanto luoghi dove si svolge la vita, devono essere a loro volta concepiti come sistemi viventi (CEEweb for Biodiversity, 2020): la città, come principale habitat dell'umanità, per poter garantire la propria sopravvivenza deve instaurare una nuova relazione simbiotica basata su un mutuo scambio con i sistemi naturali nei quali si sviluppa, in luogo del vecchio status di mera consumatrice di risorse naturali e generatrice di rifiuti. Con questo fine la nuova filosofia alla base del disegno di spazi urbani e edifici prende spunto dalla 'legge del mutuo sostegno', cioè dalla simbiosi tra le specie, che ha occupato un posto privilegiato nell'evoluzione del mondo naturale, in antitesi alla 'legge del più forte' che continua a predominare nella maggior parte delle attività umane (Ortega and Olivieri, 2021), costringendoci ad affrontare con urgenza il necessario paradigma progettuale delle nostre città.

Per utilizzare le parole di Stefano Mancuso, scienziato di fama internazionale e Direttore del Laboratorio Internazionale di Neurobiologia Vegetale (LINV) dell'Università di Firenze «Le nostre città [...] dovrebbero essere completamente coperte di piante. Non soltanto negli spazi deputati: parchi, giardini, viali, aiuole, ecc. ma dappertutto, letteralmente sui tetti, sulle facciate dei palazzi, lungo le strade, su terrazze, balconi, ciminieri, semafori [...]. La regola dovrebbe essere una sola e semplice: dovunque sia possibile far vivere una pianta, deve essercene una» (Mancuso, 2019, p. 94). Le città non si trovano ad affrontare infatti solamente il cambiamento climatico e la contaminazione, ma anche la mancanza di contatto con la natura, la scarsa interazio-

ne sociale e la mancanza di un senso di appartenenza ai luoghi.

Da qui la necessità di una progettazione interdisciplinare, capace di includere nei processi di pianificazione e progetto tutte quelle professionalità necessarie a comprendere e sviluppare una visione sistemica per fronteggiare gli effetti che la situazione attuale presenta a livello ambientale, sociale, economico e culturale (Nesshöver et alii, 2017); nel caso della progettazione del verde è senza dubbio necessario costruire un ponte tra l'architettura e la biologia, due aree di conoscenza che da secoli coesistono nell'ecosistema urbano senza però convivere (Ortega and Olivieri, 2021), comprendendo alcuni principi della biologia di base che regolano gli ecosistemi per poi applicarli a un nuovo modello di progettazione urbana: ad esempio si potrebbero riqualificare tessuti e ambiti urbani, per generare benefici reciproci a uomo e natura, sfruttando la capacità di alcuni organismi di proliferare nel terreno attorno alle radici (rizosfera)<sup>4</sup> per assorbire in presenza di acqua gli inquinanti atmosferici.

L'impiego, diffuso fino a poco tempo fa, di specie che richiedono poca acqua si è rivelato poco adeguato in termini di purificazione e di riduzione delle temperature per evapotraspirazione; invece di limitare l'uso di acqua sarebbe stato più logico realizzare sistemi di recupero delle acque piovane per l'irrigazione del verde. Viene quindi da chiedersi come potrebbero essere le città qualora parte del suolo fosse libero di drenare l'acqua e nutrire le relazioni simbiotiche che avvengono nella rizosfera (Fig. 9) e quanto potrebbero essere diverse da quelle nelle quali viviamo.

Tanti sono i principi biologici alla base del funzionamento delle 'infrastrutture verdi', definite dalla European Commission (2014) come una rete di aree naturali e semi-naturali e di spazi verdi capace di erogare servizi ecosistemici alla base del benessere umano e della qualità della vita e di mobilitare gli investimenti che sostengono e valorizzano i diversi benefici (Quaranta, Dorati and Pistocchi, 2021) ambientali (conservazione del-

la biodiversità, adattamento ai cambiamenti climatici, ecc.), sociali (riduzione della povertà, nuovi spazi di relazione e ricreativi, ecc.) ed economici (nuovi posti di lavoro, aumento del valore degli immobili, ecc.).

Il confronto con le infrastrutture grigie, che in genere compiono singole funzioni quali il drenaggio o il trasporto, rendono le infrastrutture verdi attraenti in quanto possiedono il potenziale per affrontare contemporaneamente diversi problemi, tuttavia le infrastrutture grigie tradizionali sono ancora necessarie e hanno ampi margini di integrazione con la natura attraverso le cosiddette Soluzioni basate sulla Natura (NbS). Le NbS forniscono soluzioni sistemiche (alle sfide della società) innovative ed efficienti in termini di risorse volte a introdurre un maggior numero di elementi e processi naturali nelle città e nei paesaggi (UICN, 2020), sono ispirate e supportate dalla natura, forniscono servizi ecosistemici con benefici ambientali, sociali ed economici, aiutano a costruire la resilienza di uno specifico luogo (European Commission – Directorate-General for Research and Innovation, 2015).

In quest'ottica, il termine NbS va oltre i tradizionali principi di conservazione e gestione della biodiversità, riorientando il dibattito sul rapporto tra uomo e natura e rispondendo pienamente agli Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile e l'Agenda 2030 (United Nations, 2015). È possibile identificare tre tipi di NbS (CONAMA, 2019): il tipo 1 (Fig. 10) comprende quelle con un intervento minimo sugli ecosistemi, con l'obiettivo di mantenere o migliorare i servizi ecosistemici, sia all'interno che all'esterno di ecosistemi conservati (esempio sono le riserve naturali, le aree protette per la conservazione della natura e quelle cuscinetto dove le persone vivono e lavorano in modo sostenibile); il tipo 2 prevede interventi su ecosistemi e paesaggi con attività di progettazione innovativa, ad esempio per paesaggi agrari affinché diventino sostenibili e multifunzionali; il tipo 3 (Figg. 11, 12) interessa la gestione degli ecosistemi esistenti e la creazione di nuovi, attraverso i concetti di infrastrutture verdi e blu e con gli



**Fig. 4** | Green wall of the itdUPM experimental building in Madrid. The UPM research team is carrying out experimentation on energy demand and microclimate improvements through a real-time monitoring system (credit: T. Sánchez-Moreno Cárdenas, 2022).

**Fig. 5** | Detail of the green wall of the itdUPM.

**Fig. 6** | Image of the city of Barcelona on a day with high air pollution levels (source: flickr.com, 2022).

Next page

**Fig. 7** | MUAC prototype installed at the School of Architecture (ETSAM) of the UPM.

**Fig. 8** | MUAC prototype installed at itdUPM.

**Fig. 9** | Biofiver module for a vertical garden, where the root development is clearly visible (credit: E. Ortega Molina, 2021).

obiettivi di ripristino di aree altamente degradate o inquinate e di nuove aree, in ambito urbano ed extraurbano (esempio è la realizzazione di tetti e pareti verdi per mitigare il riscaldamento urbano e ridurre l'inquinamento dell'aria o la predisposi-

zione di sistemi di drenaggio urbano sostenibile).

Ci sono poi soluzioni ibride nel tempo e nello spazio, ad esempio soluzioni di tipo 3 che nel tempo diventano di tipo 1 perché oggetto di sola manutenzione. In generale, possiamo riconoscere cinque principi fondamentali che caratterizzano le NbS: 1) sostengono la conservazione della natura; 2) possono essere applicate da sole o integrate con altre soluzioni tecnologiche; 3) hanno carattere locale, nel senso che sono determinate da contesti naturali e culturali specifici del sito; 4) forniscono benefici ambientali, sociali ed economici in modo equo, promuovendo la trasparenza e un'ampia partecipazione (Fig. 13); 5) promuovono la diversità biologica e culturale e garantiscono agli ecosistemi di evolversi nel tempo (Fig. 14).

**Conclusioni** | Le infrastrutture verdi nelle città, come parchi, alberi, giardini e spazi verdi ricreativi, forniscono importanti servizi ecosistemici, tuttavia le superfici a livello di suolo sono sempre più limitate perché in competizione con nuove aree residenziali, servizi pubblici e altre infrastrutture cittadine: è pertanto urgente considerare tutte le superfici disponibili e tutte le componenti della città che possono contribuire a creare luoghi più salubri e più resilienti per modificare o adattare i nostri spazi aperti, parchi e strade affinché operino in modo multifunzionale e massimizzino la loro efficacia. In questa ottica, anche gli edifici costituiscono una risorsa imprescindibile per rendere le nostre città più resilienti, purché si superi la tradizionale visione della performance (incentrata sull'interno) e si concepiscono le superfici esterne come elementi che possono contribuire a creare ambienti più sani, migliorare le condizioni sociali e contrastare gli effetti derivati dai cambiamenti climatici (ARUP, 2016). È necessario quindi un cambio di visione che consideri l'edificio come un elemento che può generare un impatto positivo nell'ambiente circostante, un passo in avanti rispetto alla visione classica della sostenibilità incentrata sulla riduzione degli impatti negativi generati.

La realizzazione di iniziative e azioni indirizzate a costruire un rapporto simbiotico tra natura e città è funzionale allo sviluppo di una strategia globale volta a incidere positivamente sull'interazione sociale e la salute fisica e mentale dei cittadini, oltre che a garantire un miglioramento delle condizioni ambientali e un adattamento agli effetti dei cambiamenti climatici. La natura multifunzionale delle NbS garantisce la loro capacità di migliorare il funzionamento e la resilienza globale delle aree urbane in cui sono integrate, ma per accelerare il processo di riconoscimento di questa capacità è necessario reinterpretare le azioni basate sulla natura alla luce delle nuove tecnologie e degli strumenti che abilitano il progettista a quantificare l'effetto delle strategie proposte, al fine di ottimizzare il design e rispondere alle esigenze attuali e future. La quantificazione è essenziale affinché i suoi benefici a breve e lungo termine siano riconosciuti e vengano sviluppate politiche che ne favoriscano l'attuazione (Sendra-Arranz et alii, 2020).

Non ci resta che iniziare a creare gli scenari che favoriscono i principi biologici con cui lavora l'ecosistema naturale poiché la natura, nella sua infinita saggezza, ci fornisce già le chiavi per rea-

lizzare non solo città verdi e pulite, ma anche veri e propri ecosistemi urbani naturali: solo attraverso la costruzione di ponti tra l'architettura e la biologia, la simbiosi potrà diventare il paradigma progettuale nell'ecosistema urbano.

Inger Andersen, Executive Director of the United Nations Environmental Program (UNEP) and formerly Director-General of the International Union for Conservation of Nature (IUCN) – commenting on the second part of the Sixth Assessment Report (AR6) of the Intergovernmental Panel of Experts on Climate Change (IPCC), officially presented this February (IPCC, 2022) – said that humanity has spent centuries treating nature like its worst enemy. The truth is that nature can be our saviour, but only if we save it first. The VI Report focuses mainly on the analysis of the negative impacts generated by global warming, the adaptability of people and ecosystems and on their growing vulnerability in the current situation. The conclusions of the Report, which is a summary of the scientific work carried out by hundreds of scholars around the world, are based on clear scientific evidence and underline that climate change constitutes a clear threat to human well-being and the health of the planet. Unlike previous reports, whose conclusions were mainly based on the results of scientific models and extrapolations on possible future scenarios, for the first time, an analysis of the present situation was carried out, which takes on an increasingly disconcerting connotation.

Currently, the increase in the global average temperature, which stands at around 1.1 °C, has already caused far-reaching damage to natural systems and living environments and it is estimated that more than 3 billion people now live in conditions of particular vulnerability to climate change, inhabiting regions severely affected by the climate and environmental crisis (IPCC, 2022). Since the problem is of such magnitude and in many cases affects socially unstable regions of the world already subject to political and economic criticalities, the consequences of global warming go beyond its direct environmental effects. Its negative impact on economic productivity triggers countless social problems such as struggles, migrations, and wars. A study by the University of Berkeley (Hsiang, Burke and Miguel, 2013) shows that the increased average temperatures and precipitation raise the likelihood of conflicts and the International Organization for Migration calculates that in the next 30 years about 200 million people will be forced to abandon their homes to move permanently to other areas within the same country or abroad, as a consequence to global warming (Myers, 2005).

Although adaptation and mitigation of climate change are central issues in the international debate, especially in recent years, words are very often not accompanied by deeds. Nowadays, scholars agree that there is a considerable divergence between the political response that is given to the problem of climate change and what needs to be done (National Intelligence Estimate, 2021). Spectacularized pilot actions with small consequences exalted as decisive often occupy newspaper front pages whereas scientific anal-

yses clearly demonstrate the need for urgent and drastic operations in partnerships between governments, the private sector and civil society that are truly capable of generating a peremptory change of pace. Although efforts in planning adaptation action have led to a reduction in extreme consequences, the effects of climate change are increasing at a rate exceeding the progress made in adaptation (United Nations Environment Programme, 2021). The short-term consequences of climate change are having much more severe effects than previously thought, as the consequences of the sharp rise in global warming have so far been underestimated (United Nations Human Settlements Programme, 2011).

There is also another issue to consider. Although it is essential to focus the efforts on short-term adaptability, rapid actions – which among other things can fuel a false sense of security – could jeopardise long-term projects. These are the so-called ‘maladaptation’ risks, in which the initiatives were taken to deal with the possible damage caused by climate change reduce the possibility of transformative adaptation, which would be the only factor capable of improving the situation in the long term. As Goal 17 of the 2030 Agenda points out (UNDP, 2015; United Nations, 2015), for the Sustainable Development Goals to trigger radical transformations, it is necessary to create inclusive collaborations built on a common vision that focuses on people and the planet. As with the rest of the Goals, as a society, we will be able to move forward towards achieving Goal 13 – Climate Action when it starts adopting internationally coordinated solutions involving all stakeholders.

**Cities and Climate Change** | The problem of climate change is a global challenge, it does not stay within national borders and its consequences are visible in every part of the planet, and scholars agree that cities are the most vulnerable to these changes. In fact, the repercussions are perceived with greater intensity precisely in the cities (Tapia et alii, 2017). For cities that are in intermediate latitudes, as is the case for Italian cities and in general for the cities of the Mediterranean area, this translates into phenomena such as: rising temperatures, more frequent and more intense heatwaves, irregular and violent rainfalls followed by long periods of drought, reduction of the cold season. In addition, the sea level is set to rise, putting at risk various cities on the Italian coasts in the coming decades (Guida, 2021).

Ultimately, as we are experiencing, the probability of having to cope with extreme weather events is dramatically growing. The events are distinguished according to the geographical latitude in more intense weather phenomena or droughts, water shortages, heatwaves, floods, and more violent storms in longer storm seasons (Castellari et alii, 2014). The most vulnerable residents bear the greatest costs: sick people, the elderly and those with fewer economic resources. Climate change exacerbates inequalities not only in poor countries but also in rich and industrialized countries. In addition to the extreme climate events described above, there is another phenomenon affecting cities. Even if we succeed in limiting global warming to below 2 °C, the effects of climate change are expected to lead to a shift in climate zones,

resulting in a major change in the climate of most cities (Bastin et alii, 2019).

The climate for a given place on the planet is defined by geographical factors such as location, topography, and hydrography, each of them shown by various elements and parameters that together differentiate the climatic conditions of an area (Fig. 1), most notably: solar radiation, air temperature, wind and humidity, which all change in an urban context. Urban morphology, thermal properties of building materials, presence or absence of vegetation and human activities have an impact on the urban climate since each urban structure creates a modified climate around and in it. European urban areas increasingly face flooding due to extreme rainfalls and water shortages caused by extended periods of drought, with centralised urban drainage and supply systems being labour-intensive and expensive to run. To solve this critical issue, the startup Field Factors of the Technische Universiteit Delft (TU Delft), in collaboration with the Universidad Politécnica de Madrid, implemented Bluebloqs (Figg. 2, 3), a project coordinated by Professor Francesca Olivieri and funded by the European Commission in 2019 within the Climate KIC Demonstrator call. Bluebloqs is a scalable nature-based solution for decentralised stormwater management in urban areas that avoids street flooding and ensures freshwater availability by locally regimenting, treating and storing rainwater through an integrated circular water system.

The system can be implemented at the building or neighbourhood level with a reduced space commitment and by adding vegetation to the existing infrastructure. Bluebloqs has a positive impact in catalysing the transition to a natural urban water cycle and resilient green cities. One of the four prototypes, resulting from the consultation with the Madrid City Council stakeholders and the owners of the Caleido tower, was implemented in the Caleido Park in Madrid. After assessing the technical feasibility for the specific geological and climatic context and the socio-institutional feasibility, the UPM research team defined the guidelines for the implementation of the water system in a resilient network first in the neighbourhood and then in the whole park.

**Heat Island and Heat Wave** | The heat island effect, which is a result of the increased heat flow from the earth’s surface to the atmosphere in cities and surrounding areas (especially at night), is due to the physical characteristics of built-up spaces, mainly characterised by impermeable surfaces and high thermal storage capacity, to which sources of heat and anthropogenic emissions are added.

A heat island can be defined as the difference at a specific time between a point representing the urban centre and another non-urban or peripheral point. This phenomenon is aggravated by the massive replacement of plant areas with buildings and waterproof surfaces which absorb heat by day and return it as infrared radiations at night, hindering the night cooling needed to thermally regulate the urban ecosystem. This problem is amplified by the urban growth we are experiencing and will continue to experience in the years to come. Currently, in temperate climates, heat waves, droughts and torrential rains have a





**Fig. 10** | The Green Belt in Vitoria-Gasteiz (Spain) includes six consolidated parks (Armentia, Olarizu, Salburua, Zabalgana, Zadorra, and Errekaleor). This ambitious project aims to recover and restore the outlying areas of Vitoria-Gasteiz and create a larger green recreational area around the city: in the picture, a view of Salburua park (credit: M. Duran, 2012).

**Fig. 11** | Example of a green roof system (source: flickr.com, 2022).

**Fig. 12** | Green roof module from the company Vertiarte Jardines Verticales S.L., located in Spain (credit: T. Sánchez-Moreno Cárdenas, 2022).

**Fig. 13** | View from Casa Milà in Barcelona of the urban renovation in Passeig de Gràcia Avenue (source: flickr.com, 2022).

significant impact, especially in summer, affecting the habitability of cities and the health of their occupants. Although the intensity of the heat islands in some cities has not increased with climate change, the general increase in temperatures has transformed the heat island phenomenon into a new climate risk, due to the negative effect of the excess night heat in urban centres during summer, particularly when it occurs in conjunction with a heatwave. In these situations, the heat island aggravates the thermal stress to which the population is subjected.

The Spanish Agencia Estatal de Meteorología issues meteorological warnings when night temperatures do not go below 25 °C (Torres Benayas, 2021). These so-called 'scorching nights' can be as harmful to the health of the elderly and people suffering from chronic diseases as maximum temperatures recorded by day, since they cause the increase in morbidity and mortality associated with high nocturnal thermal values (Royé et alii, 2021). We can therefore deduce that, even if global warming does not increase the intensity of heat islands, it aggravates their negative effects on human health, due to excessive heat during summer.

In Madrid, the combined effect of heat islands and heatwaves causes major problems to the vulnerable population. Vertical gardens and green roofs are some of the most effective solutions to tackle these phenomena in urban areas, mainly due to the lack of surface area at ground level. A research project developed by an interdisciplinary group at the Universidad Politécnica de Madrid (UPM), coordinated by Professor Francesca Olivieri, has the main objective of quantifying the reduction of environmental temperature values in the areas surrounding a vertical garden<sup>1</sup>. The energy retrofit of a small building on the Campus (Fig. 4), converted into the Innovation and Technology for Development Centre (itdUPM), was an opportunity to implement a modular vertical garden (Fig. 5), a sensor system and a weather station, which measure different environmental variables both indoors and outdoors in real-time, on part of the south and west facades. The experimentation is still ongoing, but the results obtained so far show that the greatest temperature reductions are achieved at times of day when vertical gardens are subjected to the radiation most, i.e., to the south in the middle of the day and to the west in the late afternoon (Sendra-Arranz et alii, 2020).

**Air Quality** | Another particularly important challenge of our time plays out in the cities: improving the quality of the air we breathe. According to data published by the European Environment Agency (EEA, 2019) – the European Union data centre on air pollution (Fig. 6) contributes to the evaluation of EU air pollution policies and the development of long-term strategies to improve air quality in Europe – around 90% of urban dwellers are exposed to harmful levels of pollutant concentrations. It also stated that air pollution is one of the main causes of premature death and illness and constitutes a profoundly serious environmental health risk in most European cities. Cardiovascular diseases and strokes are the most common causes of premature death attributable to air pollution, followed by lung disease and lung cancer.

The World Health Organization (WHO, 2021) states that air pollution is currently responsible for 7 million premature deaths in the world each year. For the first time, the guidelines published in September 2021 addressed all countries in the world and provide uniform air quality targets. The targets set are much more demanding than the standards in force in many countries and in some of the most polluted cities they would mean a reduction of more than three times the current level of contamination.

The bars set are lower than those indicated in the previous document, published in 2005 (WHO, 2005): this is mainly due to a detailed examination of the results of recent scientific studies, which document the negative influence of pollution on human health and highlight that air pollution harms health at lower concentrations than those previously assumed: an annual average of fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) decreases from 10 to 5 µg/m<sup>3</sup>, that of inhalable particulate matter (PM<sub>10</sub>) from 20 to 15 µg/m<sup>3</sup>, while for nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) it drops drastically from 40 to 10 µg/m<sup>3</sup>, and for carbon monoxide (CO) a daily limit of 4 µg/m<sup>3</sup> is suggested. The values indicated by WHO are not legally binding but should be considered to inspire national and EU legislation in this field. It is enough to compare this data with that recorded daily in our cities to ascertain that, although the drop in pollution followed a long-term trend for some years, we are far from reaching these new levels. Bill Wolverton, a NASA researcher, and his team carried out several studies to identify air purification systems in space stations in the late 1980s and early 1990s (Wolverton, Johnson and Bounds, 1989; Wolverton and Wolverton, 1993; Wolverton and Nelson, 2020) that could in part be applied to the confined environments of buildings in our cities since in most cases they developed without any logical relationship with natural spaces.

The phenomena described take on greater importance if we consider that in Europe currently over 75% of the population lives in urban areas and this percentage is expected to grow to 80% in the next thirty years. On a planetary scale, the situation is not quite different, about 66% of the world's population is expected to live in cities by 2050 with 90% of that increase in the urban population taking place in Africa and Asia (European Commission – Joint Research Centre, 2020). Urbanization in developing countries is, in fact, one of the most important trends of our time. The growth of cities is now different than it was in the past: it is faster, the population is essentially poor and the governments of the states where these transformations are taking place are weak and unstable. It is, therefore, clear that the climate battle will be won or lost in the cities, as argued by António Guterres, Secretary-General of the United Nations at the C40 summit in Copenhagen in 2019.<sup>2</sup>

MUAC (Modules for Urban Air Cleaning) is one of the viable solutions that can contribute to the improvement of air quality. It is a project funded by the European Commission in 2018 under the Climate KIC Pathfinder call. The MUAC (Fig. 7, 8) – developed by a team from the Universidad Politécnica de Madrid coordinated by Professor Francesca Olivieri – is an efficient, easy, and quick way to install an urban air purification

module whose size and lightness make it suitable for placement on almost any pavement as it occupies an area of only 0.49 sqm. The sustainability of the module is ensured by a metal structure and 100% recyclable plastic grids which reduce the carbon footprint at the end of its life cycle but also by using local vegetation, less sensitive to weather changes.

The MUAC represents a nature-based solution for creating green and resilient cities, an important element of the urban landscape that helps to compensate for large paved areas with vegetation and to reduce greenhouse gas emissions (thanks to the natural purification system capable of absorbing particles such as PM2.5 and PM10 and gases such as NO<sub>x</sub>, CO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>) by improving the urban microclimate in terms of heat island effects and regulation of thermo-hygro-metric parameters, while at the same time dampening noise pollution. The MUAC is equipped with a monitor reporting in real-time pollution data whose function is to have an indirect impact on citizens by raising their awareness through the democratisation of information on pollution and encouraging the use of green mobility.

**City and Nature** | Based on the evidence described in the previous paragraphs, numerous international organizations have developed regulations and strategies aimed at finding solutions that contribute to the adaptation and mitigation of climate change and the reduction of contamination, specially oriented to urban areas, given that – as we have seen – the worst effects occur in the cities (CDP, 2021). The search for solutions, to help the stakeholders involved in urban development to address these problems, has led to the formulation of action plans that propose a fundamental change in the understanding of cities. One of the main strategies to contribute to the transition of cities into more inclusive, safe, resilient, sustainable, and healthy models, is based on the integration of plant elements in the urban fabric (Saiz, Olivieri and Neila, 2016). This integration is not carried out for aes-

thetic purposes, as it has mainly been done so far<sup>3</sup>, but with clear functional objectives (Tatano, 2008), as active systems that provide the city with the necessary elements to metabolise and regulate pollutants, improving their ability to adapt and mitigate the effects of climate change.

According to this vision, urban spaces, as places where life takes place, must in turn be imagined as living systems (CEEweb for Biodiversity, 2020). The city, as the main habitat of humanity, in order to guarantee its survival establishes a constructive relationship with the natural systems in which it develops. This bond must be mutual and equal, which is not possible if the city stands as a mere consumer of natural resources and a generator of waste and residues. Ultimately, we are facing a necessary change of pace regarding the development of urban areas, which can no longer be imagined at the expense of or in conflict with nature but must necessarily be considered based on a symbiotic relationship with it. With this in mind, the new concept underlying the design of urban spaces and buildings takes its cue from the ‘law of mutual support’, that is the symbiosis between species, which has occupied a privileged place in the evolution of the natural world and which is in antithesis with the ‘law of the strongest’, which has instead predominated and continues to predominate in most human activities (Ortega and Olivieri, 2021). This reality forces us to urgently tackle the design paradigm of our cities.

According to Stefano Mancuso, internationally renowned Scientist and Director of the International Laboratory of Plant Neurobiology (LINV) of the University of Florence, our cities should be completely covered in plants, not only in the designated spaces (parks, gardens, avenues, flower beds, etc.) but everywhere (on roofs, on the facades of buildings, along the streets, on terraces, balconies, chimneys, traffic lights). The only and simple rule should be: wherever it is possible to make a plant live, there must be one (Mancuso, 2019). Cities not only face climate change and contamination but also lack contact with nature,

poor social interaction, and the need to develop a sense of belonging to places.

Hence the need for planning in an interdisciplinary form, including in the planning and design processes all the professional skills necessary to understand and develop a vision capable of responding coherently and comprehensively to the various problems that the current situation presents in environmental, social, economic and cultural terms (Nesshöver et alii, 2017). In the case of green design, it is undoubtedly necessary to build a bridge between architecture and biology, two areas of knowledge that have coexisted in the urban ecosystem for centuries, however without working together (Ortega and Olivieri, 2021). In order to build this bridge, it is necessary to know and understand some basic biological principles governing ecosystems and then apply them to a new urban design model. One example is the ability of plants and microorganisms that develop in the soil around roots (rhizosphere)<sup>4</sup> to transform and exploit air pollutants whose existence is directly related to the presence of water. A process that we could use in our cities to design new spaces in which man and nature may benefit from each other.

Some design choices, quite common until recently, such as that of creating green areas that need little water, have proved to be erroneous because without the presence of water the purifying effect of the plants is reduced, as well as the effect of reducing temperatures due to evapotranspiration. It would have been more logical, for example, to favour the installation of rainwater recovery systems for irrigation of green spaces instead of limiting the use of water. This begs the question of what cities might look like if part of the soil were free to drain water and nourish the symbiotic relationships that occur in the rhizosphere (Fig. 9) and how different they might be from those in which we live.

This and other biological principles underpin the functioning of ‘green infrastructure’, defined by the European Commission as a network of natural and semi-natural areas and green spaces



**Fig. 14** | The Madrid Río Project creates an environmental axis from Monte de El Pardo to Getafe and creates an ecologic corridor of more than 2,961 hectares (source: flickr.com, 2022).

**Fig. 15** | Traditional Scandinavian green roof (source: pexels.com, 2022).



that provides ecosystem services, which are the basis of human well-being and quality of life (European Commission, 2014). They are described as a tool intended to provide ecological, economic and social benefits through solutions in harmony with nature, to help understand the benefits that nature offers to human society, and to mobilise investments that support and enhance these benefits. Green infrastructures are in fact able to provide multiple functions and advantages in the same area (Quaranta, Dorati and Pistocchi, 2021). These functions can be environmental (e.g., biodiversity conservation or adaptation to climate change), social (supply of water drainage or green spaces) and economic (e.g., supply of jobs and increase in property prices).

In comparison with grey infrastructures, which typically perform single functions such as drainage or transport, green infrastructures are more attractive as they have the potential to tackle several problems simultaneously. Traditional grey infrastructures are still needed, but they can often be strengthened with solutions in harmony with nature. One of the fundamental concepts related to urban green infrastructures is that of Nature-based Solutions (NbS). NbS are solutions to societal challenges inspired and supported by nature, which simultaneously provide environmental, social and economic benefits and help build resilience (European Commission – Directorate-General for Research and Innovation, 2015). They offer ecosystem services that translate into benefits for society. These are locally adapted, resource-efficient systemic interventions aimed at introducing more natural elements and processes into cities and landscapes (IUCN, 2020).

With this in mind, the term NbS goes beyond the traditional principles of biodiversity conservation and management, refocusing the debate on the relationship between humans and nature and fully responding to the Sustainable Development Goals and the 2030 Agenda (United Nations, 2015). We can identify three types of NbS (CONAMA, 2018): type 1 (Fig. 10) includes those with minimal intervention in ecosystems, intending to maintain or improve ecosystem services, both within and outside protected ecosystems (e.g. nature reserves, nature conservation areas and buffer zones where people live and work sustainably); type 2 involves working on ecosystems and landscapes with innovative design activities (e.g. for agricultural landscapes to become sustainable and multifunctional); type 3

(Fig. 11, 12) concerns the management of existing ecosystems and the creation of new ones, through the concepts of green and blue infrastructure and with the objectives of restoring highly degraded or polluted spaces and new areas, in urban and suburban neighbourhoods (e.g., the construction of green roofs and walls to mitigate urban warming and reduce air pollution or the provision of sustainable urban drainage systems).

Then there are the hybrid solutions in time and space. Solutions that can be type 3 and that over time become type 1 because they only need to be maintained. In general, we can recognise five fundamental principles of NbS: 1) they adopt the rules and principles of nature conservation; 2) they can be applied alone or integrated with other technological solutions; 3) they are local, that is, determined by natural and cultural contexts specific to a site (Fig. 13); 4) they fairly provide social benefits, promoting transparency and broad participation; 5) they promote biological and cultural diversity and the ability of ecosystems to evolve over time (Fig. 14).

**Conclusions** | Green infrastructures in cities, such as parks, trees, gardens, and recreational green spaces provide important ecosystem services. However, ground-level areas are increasingly limited because they compete with new residential areas, utilities, and other urban facilities. Therefore, it is urgent to take into consideration all available surfaces. All parts of the city can help create healthier and more resilient environments. We are called upon to modify or adapt our outdoor spaces, parks, and streets so that they operate in a multifunctional way maximizing their effectiveness. In this perspective, buildings are an essential resource to make our cities more resilient, leaving aside the traditional vision of performance (focused indoors) and conceiving outdoor surfaces as elements that can contribute to creating healthier environments, improving social conditions, and countering climate change effects (ARUP, 2016). This change of focus, therefore, leads us to consider a building as an element that is called upon to generate a positive impact on the surrounding environment, a step forward compared to the classic vision of sustainability strongly focused on reducing the negative impacts generated.

The implementation of initiatives and actions aimed at building a symbiotic relationship between nature and city is functional to the devel-

opment of a global strategy aimed at positively affecting social interaction and the physical and mental health of citizens, as well as ensuring an improvement in environmental conditions and an adaptation to the effects of climate change. The multifunctional quality of Nature-Based Solutions ensures their ability to improve the functioning and overall resilience of the urban areas in which they are integrated. To accelerate the process of recognition of this ability, it is necessary to reinterpret nature-based actions in the light of new technologies and tools that enable a designer to quantify the effect of the proposed strategies, in order to optimise a design and respond to current and future needs. This quantification is crucial for its short- and long-term benefits to be recognised and policies to be developed that favour the implementation of these strategies (Sendra-Arranz et alii, 2020).

We can only start creating the scenarios that favour the biological principles of the natural ecosystem, since nature, in its infinite wisdom, already provides us with the keys to create not only green and clean cities but also true natural urban ecosystems: only by building bridges between architecture and biology, symbiosis can become the design paradigm in the urban ecosystem.

## Notes

1) The vertical garden system used in the itdUPM building and the MUAC vegetation tower is the Biofiver modular system by the Spanish company Vertiarte.

2) For more information, see: [unfccc.int/news/guteres-cities-are-where-the-climate-battle-will-largely-be-won-or-lost](https://unfccc.int/news/guteres-cities-are-where-the-climate-battle-will-largely-be-won-or-lost) [Accessed 12 March 2022].

3) Green roofs are certainly one of the best-known and most popular vegetal elements integrated into the urban fabric. They have been used since ancient times, for example, some signs were found in numerous Roman villas (Abram, 2004). The value of these solutions was mainly architectural and aesthetic, there were no functional im-

plications until at least the Middle Ages when they were sometimes used for the cultivation of vegetables. Examples of green roofs used to improve indoor environmental conditions can be found in the rural architecture of many regions of the world. Among the best-known cases, there are Iceland and Norway (Fig. 15), where they were used for thermal insulation purpose. The technological-environmental values of these solutions were formalized in a treatise written in the late 1860s by the German Architect Carl Rabitz, in which the advantages of improved urban environmental quality were highlighted, with particular attention to the densely urbanized neighbourhoods arising as a result of the industrial revolution. Subsequently, in the twentieth century, the architectural culture of the

time began to consider the green roof as an element in which the combination of building and environment was fully identified. The Toit terrace is one of the five points of Le Corbusier's New Architecture and is used in the projects of internationally renowned architects such as A. Aalto and F. L. Wright. Currently, although the energy and environmental benefits of green roofs and in general other plant elements integrated into architecture – such as vertical gardens – have been demonstrated in numerous scientific studies, the idea that their function is mainly aesthetic is still widespread.

4) In this place, hidden from our eyes, a truly symbiotic relationship is produced between the plant kingdom and the world of microorganisms. Plants make it easier for

airborne particles to reach the rhizome of the soil, where microorganisms are tasked with transforming these harmful substances into compounds that can be absorbed by the roots and that plants need.

## References

- Abram, P. (2004), *Giardini pensili – Coperture a verde e gestione delle acque meteoriche*, Sistemi Editoriali, Napoli.
- ARUP (2016), *Cities Alive – Green Building Envelope*. [Online] Available at: arup.com/perspectives/publications/research/section/cities-alive-green-building-envelope [Accessed 12 March 2022].
- Bastin, J-F., Clark, E., Elliott, T., Van den Hoogen, J., Hordijk, L., Ma, H., Majumder, S., Manoli, G., Mascher, J. Mo, L., Routh, D., Yu, K., Zohner, C. M. and Crowther, T. W. (2019), “Understanding climate change from global analysis of city analogues”, in *PLOS ONE*, vol. 14. [Online] Available at: doi.org/10.1371/journal.pone.0217592 [Accessed 13 April 2022].
- Castellari, S., Venturini, S., Ballarin Denti, A., Bigano, A., Bindi, M., Bosello, F., Carrera, L., Chiriaco, M. V., Danovaro, R., Desiato, F., Filpa, A., Gatto, M., Gaudioso, D., Giovanardi, O., Giupponi, C., Gualdi, S., Guzzetti, F., Lapi, M., Luise, A., Marino, G., Mysiak, J., Montanari, A., Ricchiuti, A., Rudari, R., Sabbioni, C., Sciortino, M., Sinisi, L., Valentini, R., Viaroli, P., Vurro, M. and Zavatarelli, M. (eds) (2014), *Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia*, Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma. [Online] Available at: mite.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/clima/snacc\_2014\_rapporto\_stato\_conoscenze.pdf [Accessed 21 March 2022].
- CDP (2021), *Cities on the route to 2030 – Building a zero emissions, resilient planet for all*. [Online] Available at: cdp.net/en/research/global-reports/cities-on-the-route-to-2030 [Accessed 10 March 2021].
- CEEweb for Biodiversity (2020), *Green Infrastructure and Nature-Based Solutions for Urban Biodiversity*. [Online] Available at: ceeweb.org/publication.php?id=714 [Accessed 12 March 2022].
- CONAMA (2019), *Informe de Situación de Soluciones basadas en la Naturaleza en España*. [Online] Available at: fundacionconama.org/fondo-documental/ [Accessed 14 March 2021].
- EEA – European Environment Agency (2019), *The European Environment – State and outlook 2020 – Knowledge for transition to a sustainable Europe*. [Online] Available at: eea.europa.eu/soer/publications/soer-2020 [Accessed 17 May 2022].
- European Commission (2014), *Building a Green Infrastructure for Europe*. [Online] Available at: doi.org/10.2779/2738 [Accessed 14 April 2022].
- European Commission – Joint Research Centre (2020), *Atlas of the human planet 2019 – A compendium of urbanisation dynamics in 239 countries*, Publications Office. [Online] Available at: data.europa.eu/doi/10.2760/014159 [Accessed 13 March 2022].
- European Commission – Directorate-General for Research and Innovation (2015), *Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing cities – Final report of the Horizon 2020 expert group on ‘Nature-based solutions and re-naturing cities’ (full version)*, Publications Office. [Online] Available at: data.europa.eu/doi/10.2777/479582 [Accessed 14 April 2021].
- Guida, C. (2021), *Irischi naturali del cambiamento climatico nelle città del Mediterraneo*, Federico II Open Access University Press. [Online] Available at: fedoa.books.unina.it/index.php/fedoapress/catalog/book/199 [Accessed 14 April 2021].
- Hsiang, S. M., Burke, M. and Miguel, E. (2013), “Quantifying the influence of climate on human conflict”, in *Science*, vol. 341, n. 6151. [Online] Available at: doi.org/10.1126/science.1235367 [Accessed 13 April 2022].
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022), *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*. [Online] Available at: ipcc.ch/report/ar6/wg2/ [Accessed 12 March 2022].
- Mancuso, S. (2019), *La nazione delle piante*, Laterza, Roma-Bari.
- Myers, N. (2005), “Environmental refugees – An emergent security issue”, *Proceeding of the 13th Economic Forum, Prague, May 23-27, 2005*. [Online] Available at: osce.org/files/t/documents/c/3/14851.pdf [Accessed 12 March 2022].
- National Intelligence Estimate (2021), *Climate Change and International Responses Increasing Challenges to US Nation Security Through 2040*. [Online] Available at: dni.gov/files/ODNI/documents/assessments/NIE\_Climate\_Change\_and\_National\_Security.pdf [Accessed 17 May 2022].
- Nesshöver, C., Assmuth, T., Irvine, K. N., Rusch, G. M., Waylen, K. A., Delbaere, B., Haase, D., Jones-Walters, L., Keune, H., Kovacs, E., Krauze, K., Kylvik, M., Rey, F., van Dijk, J., Vistad, O. I., Wilkinson, M. E. and Wittmer, H. (2017), “The science, policy and practice of nature-based solutions – An interdisciplinary perspective”, in *Science of the total environment*, vol. 579, pp. 1215-1227. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.106 [Accessed 24 March 2022].
- Ortega, E. and Olivieri, F. (2021), “Symbiosis y empatía – Puentes entre el diseño urbano y la rizosfera”, in *Ciudad Sostenible Resiliente e Innovadora*, n. 44, pp. 7-11. [Online] Available at: ciudadostenible.eu/wp-content/uploads/2021/12/CS44.pdf [Accessed 28 March 2022].
- Quaranta, E., Dorati, C. and Pistocchi, A. (2021), “Water, energy and climate benefits of urban greening throughout Europe under different climatic scenarios”, in *Scientific Reports*, vol. 11, issue 1, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.1038/s41598-021-88141-7 [Accessed 24 March 2022].
- Royé, D., Sera, F., Tobias, A., Lowe, R., Gasparini, A., Pascal, M., de Donato, F., Nunes, B. and Teixeira, J. P. (2021), “Effects of hot nights on mortality in southern Europe”, in *Epidemiology*, vol. 32, issue 4, pp. 487-498. [Online] Available at: doi.org/10.1097/EDE.0000000000001359 [Accessed 28 March 2022].
- Saiz, S., Olivieri, F. and Neila, J. (2016), “Green roofs – Experimental and analytical study of its potential for urban microclimate regulation in Mediterranean-continental climates”, in *Urban Climate*, vol. 17, pp. 304-317. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.uclim.2016.02.004 [Accessed 28 March 2022].
- Sendra-Arranz, R., Oquendo, V., Olivieri, L., Olivieri, F., Bedoya, C. and Gutierrez, A. (2020), “Monitorization and statistical analysis of south and west green walls in a retrofitted building in Madrid”, in *Building and Environment*, vol. 183, 107049, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107049 [Accessed 23 March 2022].
- Tapia, C., Abajo, B., Feliu, E., Mendizaba, M., Martinez, J. A., Fernandez, G., Laburu, T. and Lejarazu, A. (2017), “Profiling urban vulnerabilities to climate change – An indicator-based vulnerability assessment for European cities”, in *Ecological Indicators*, vol. 78, pp. 142-155. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.040 [Accessed 10 March 2022].
- Tatano, V. (2008), *Verde – Naturalizzare in verticale*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RM).
- Torres Benayas, V. (2021), “El peligro de las noches tropicales – Cómo aumenta la mortalidad dormir a más de 25°”, in *El País*, 05/07/2021. [Online] Available at: elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2021-07-05/el-peligro-de-las-noches-tropicales-como-aumenta-la-mortalidad-dormir-a-mas-de-25-grados.html [Accessed 10 March 2022].
- UICN – Union Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales (2020), *Orientación para usar el Estándar Global de la UICN para soluciones basadas en la naturaleza – Primera edición*. [Online] Available at: doi.org/10.2305/IUCN.CH.20.20.09.es [Accessed 14 March 2022].
- UNDP – United Nations Development Programme (2015), *Sustainable Development Goals (SDG)*. [Online] Available at: undp.org/sustainable-development-goals [Accessed 28 February 2022].
- United Nations (2015), *Transforming our world – The 2030 Agenda for Sustainable Development*. [Online] Available at: sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication [Accessed 28 February 2022].
- United Nations Environment Programme (2021), *Adaptation Gap Report 2020 – Executive Summary*. [Online] Available at: wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34726/AGR\_en.pdf?sequence=35 [Accessed 17 May 2022].
- United Nations Human Settlements Programme – UN-Habitat (2011), *Cities and climate change – Global Report on Human Settlements 2011*. [Online] Available at: unhabitat.org/global-report-on-human-settlements-2011-cities-and-climate-change [Accessed 13 March 2022].
- WHO – World Health Organization (2021), *WHO global Air quality guidelines – Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. [Online] Available at: who.int/publications/i/item/9789240034228 [Accessed 12 March 2022].
- WHO – World Health Organization (2005), *Air quality guidelines – Global update 2005*. [Online] Available at: wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/8712.jsessionid=5D89F18B80B36181CB8556E44BF25E63 [Accessed 12 March 2022].
- Wolverton, B. C., Johnson, A. and Bounds, K. (1989), *Interior landscape plants for indoor air pollution abatement – Final Report*, National Aeronautics and Space Administration (NASA), John C. Stennis Space Center, Science and Technology Laboratory Stennis Space Center, MS 39529-6000. [Online] Available at: ntrs.nasa.gov/citations/19930073077 [Accessed 29 March 2022].
- Wolverton, B. C. and Nelson, M. (2020), “Using plants and soil microbes to purify indoor air – Lessons from NASA and Biosphere 2 experiments”, in *Field Actions Science Reports*, special issue 21, pp. 54-59. [Online] Available at: journals.openedition.org/factsreports/6092 [Accessed 29 March 2022].
- Wolverton, B. C. and Wolverton, J. D. (1993), “Plants and soil microorganisms – Removal of formaldehyde, xylene and ammonia from the indoor environment”, in *Journal of The Mississipp Academy of Sciences*, vol. 38, pp. 11-15. [Online] Available at: wolvertonenvironmental.com/MsAcad-93.pdf [Accessed 29 March 2022].

## SOLUZIONI SISTEMICHE PER UN BENESSERE OLISTICO DELLE CITTÀ

Processi, risultati e riflessioni

## SYSTEMIC SOLUTIONS FOR THE HOLISTIC WELL-BEING OF CITIES

Processes, results and reflections

Silvia Barbero, Carolina Giraldo Nohra, Cristian Campagnaro

### ABSTRACT

Oggi le città post-industriali possono essere intese come Living Labs per sperimentare strategie di innovazione urbana, come le Nature-based Solutions, e per rigenerare l'ecosistema naturale e quello antropico. Queste azioni richiedono un processo partecipativo che applichi strumenti di co-design nel contesto di un approccio a quadrupla elica, assicurando al Living Lab resilienza di lunga durata. In questo contesto, il contributo intende esaminare le implicazioni dell'uso di strumenti di co-progettazione, dai workshop partecipativi alla mappatura SWOT, nell'ambito specifico del caso studio di Mirafiori Sud, a Torino, all'interno del progetto europeo proGREG (2018-2023), con particolare attenzione all'esperienza di co-design di una parete verde in un dormitorio pubblico della Città di Torino.

Today, post-industrial cities can be seen as Living Labs, places to experiment with urban innovation strategies, such as Nature-based Solutions, and to regenerate the natural and man-made ecosystems. These actions require a participatory process that applies co-design tools in the context of a quadruple helix approach, ensuring the Living Lab's long-term resilience. In this context, this contribution intends to examine the implications of the use of co-design tools, from participatory workshops to SWOT mapping, in the specific context of the case study of Mirafiori Sud, in Turin, within the European project proGREG (2018-2023), with a focus on the co-design experience of a green wall in a public dormitory of the City of Turin.

### KEYWORDS

soluzioni basate sulla natura, pareti verdi, città post-industriali, living labs, design sistemico

nature-based solutions, green walls, post-industrial cities, living labs, systemic design

**Silvia Barbero**, PhD, is an Associate Professor in Design at the Department of Architecture and Design, Politecnico di Torino (Italy) and an expert in systemic design for the circularity of industrial processes to achieve greater environmental, social and economic sustainability. Since 2018, she has been President of the International Systemic Design Association. Mob. +39 349/76.33.793 | E-mail: [silvia.barbero@polito.it](mailto:silvia.barbero@polito.it)

**Carolina Giraldo Nohra**, PhD, is a Designer Producer of Deep Demonstrations at EIT Climate-Kic (Hungary), where she is involved in developing Policy Design Labs specifically on the circular economy. Her research work focuses on the convergence of systemic design and circular economy, focusing on public policies that promote circular city models in post-industrial areas. E-mail: [carolina.giraldo@climate-kic.org](mailto:carolina.giraldo@climate-kic.org)

**Cristian Campagnaro**, PhD, is an Associate Professor in the Department of Architecture and Design, Politecnico di Torino (Italy). Selected for the ADI Design Index in social design thanks to projects on homelessness, motor disability, circular economy and food poverty, he focuses his research on design for sustainable processes, design for social inclusion and participatory processes. Mob. +39 347/12.29.688 | E-mail: [cristian.campagnaro@polito.it](mailto:cristian.campagnaro@polito.it)

La transizione verso modelli post-industriali e le delocalizzazioni hanno lasciato in molte città, un tempo manifatturiere, aree vuote e in stato di avanzato degrado. Oggi molte di queste città affrontano le sfide della deindustrializzazione, della rigenerazione delle infrastrutture e dei luoghi pubblici e l'inevitabile ripensamento della loro identità; lo fanno, intraprendendo importanti transizioni verso modelli di maggiore sostenibilità ambientale, sociale ed economica. Il Patrimonio post-industriale può essere considerato e valorizzato come una risorsa per la promozione di sistemi urbani fiorenti e resilienti (Bulkeley, Broto and Edwards, 2012). In questo quadro di potenziale sostenibilità le Nature-based Solutions (NbS) emergono come una delle possibili risposte per la rinaturalizzazione delle città attraverso l'uso di tecnologie basate sui sistemi naturali, soprattutto se interpretate non come elementi puntuali del tessuto urbano ma come elementi di un sistema più ampio e complesso (Ernstson et alii, 2010). Le NbS possono anche essere strumenti per la promozione della coesione sociale e della collaborazione tra i cittadini: nel caso in questione, infatti, l'implementazione e lo sviluppo delle NbS hanno avuto luogo nell'ambito dei cosiddetti Living Labs, i quali hanno facilitato la sperimentazione di soluzioni sostenibili e hanno permesso agli stakeholders locali di scegliere quelle più appropriate, co-progettarle, sperimentarle e apprendere di esse – e da esse – in modo collaborativo (Ascione et alii, 2021).

Il presente testo intende indagare processi, metodi e strumenti partecipativi a sostegno della rigenerazione di aree urbane post-industriali sostenuta dalle NbS. In particolare la sperimentazione, a cui questo contributo dedica attenzione, ha avuto luogo nell'ambito del progetto Horizon 2020 proGInreg (productive Green Infrastructure for post-industrial urban regeneration, 2018-2023) che ha l'obiettivo di testare l'uso delle NBS come dispositivi per affrontare, in modo efficiente e sostenibile, le sfide sociali, economiche e ambientali della rigenerazione e della transizione ecologica dei quartieri post-industriali delle città di Dortmund, Torino, Zagabria e Ningbo. Verrà trattato il caso del quartiere Mirafiori Sud di Torino con un focus sull'implementazione di una parete verde presso una struttura abitativa per persone senza dimora della città. Ciò ha permesso di mettere in evidenza le opportunità e le difficoltà del processo di progettazione e realizzazione, gli impatti della soluzione proposta su attori e luoghi e, infine, alcune riflessioni sulla replicabilità e scalabilità della sperimentazione nel contesto più ampio dei Living Lab cittadini.

L'articolo è strutturato in tre sezioni: la prima presenta una revisione della letteratura sui Living Labs nei distretti post-industriali come strumento rigenerativo e in particolare sul ruolo delle pareti verdi in questo processo; la seconda riporta i risultati del processo di co-creazione, le mappe e le sessioni di sense-making che hanno portato all'implementazione della parete verde e le azioni che ne hanno guidato lo sviluppo progettuale; la terza discute i risultati dell'esperienza, esplorando le sfide e le opportunità del processo di co-progettazione delle NBS in relazione al ruolo che la disciplina del Design ha avuto nell'accompagnare i processi.

**Distretti post-industriali verso la rigenerazione** | Alcuni studiosi hanno sottolineato che le NbS possono fornire un approccio pratico alle problematiche della deindustrializzazione, promuovendo impatti sociali, economici e ambientali positivi come il miglioramento della qualità della vita e l'incremento del valore delle proprietà, proprio attraverso la rigenerazione del contesto naturale (Song et alii, 2019). In questo senso, le NbS sono state definite come 'servizi ecosistemici' che facilitano i processi naturali all'interno di contesti fortemente antropizzati: l'agricoltura urbana, l'acquaponica, le foreste urbane (Davies and Laforzezza, 2017), i giardini impollinatori e le pareti verdi dimostrano di poter migliorare i contesti cittadini, promuovere il benessere delle persone e creare nuove relazioni tra la comunità e gli ecosistemi naturali (Gulsrud, Hertzog and Shear, 2018).

Tuttavia l'investimento in NbS è spesso limitato a interventi a tantum finanziati dal settore pubblico che li considera beni collettivi di uso gratuito: la loro gestione e manutenzione è soggetta alla mancanza di risorse adeguate e durature che compromettono la sostenibilità, l'accessibilità e la fruibilità auspiccate dagli stessi progetti. Queste complessità e incertezze, che caratterizzano molte esperienze sulle NbS, suggeriscono l'implementazione di contesti di sperimentazione partecipata quali i Living Labs e approcci orientati a un forte coinvolgimento di tutti gli attori, affinché queste soluzioni siano co-progettate e adattate alle esigenze della città e dei suoi cittadini (Nel and Nel, 2021).

**Living Labs nei quartieri post-industriali** | Oggi molte città post-industriali includono le NBS nelle loro agende di city-planning; si tratta di una tendenza che, in molti progetti pilota, prevede l'implementazione di queste soluzioni sistemiche nel contesto dei Living Lab (Frantzeskaki and Kabisch, 2016). Questi ultimi sono ecosistemi urbani innovativi, finanziati pubblicamente, dove i soggetti interessati possono collaborare per sperimentare e valutare le tecnologie innovative, NbS comprese (Felson et alii, 2013). Nel caso in questione, gli strumenti di co-design sono stati applicati nell'implementazione di un Living Lab finalizzato alla promozione e sperimentazione di NbS nel quartiere Mirafiori Sud a Torino; questo quartiere è il più significativo esempio di 'città-fabbrica' italiana e riunisce 40.000 abitanti in 12 kmq.

La sua storia è intrecciata con la FIAT (Fabbrica Italiana Automobili Torino), che ha reso quella Torino la 'città dell'automobile'; durante la crisi del fordismo degli anni '90, più di sei milioni di metri quadrati di aree industriali sono state abbandonate, lasciando nel quartiere estesi 'vuoti' urbani e da allora la città affronta tale fenomeno attraverso diversi piani di rigenerazione urbana che preservano la storia e il valore del tessuto urbano. Per affrontare in modo efficiente e sostenibile le sfide sociali, economiche e ambientali della de-industrializzazione locale, il Living Lab di Mirafiori Sud è stato concepito su tre livelli: tecnico, migliorando il livello di Technology Readiness Level (TRL) di ogni NbS; sociale, mettendo in atto un processo partecipativo di co-progettazione e co-implementation delle NbS; economico, consolidando i modelli di business a sostegno delle NbS stesse.

**Pareti verdi** | Le pareti verdi rientrano a tutti gli effetti nelle NbS e nella più ampia categoria dei sistemi verticali verdi, i quali sono ampiamente utilizzati come sistemi passivi per il risparmio energetico; essi combinano natura, orticoltura, botanica e ambiente artificiale (Perini et alii, 2011). Radicati nella tradizione dell'architettura verde, oggi queste pareti si arricchiscono di innovazioni materiche e tecnologiche, promuovendo funzioni edilizie più sostenibili rispetto a quelle delle facciate verdi delle origini. Attualmente la letteratura si concentra su due aspetti del tema: definire cosa siano le pareti verdi, distinguendole rispetto ad altre forme di sistemi verticali verdi ed esplorare i benefici multidimensionali della loro implementazione in ambito urbano.

Pérez et alii (2011) differenziano le facciate verdi dalle cosiddette living walls; le facciate verdi sono sistemi in cui piante rampicanti o appese coprono parti di un edificio e possono essere piantate nel terreno o in vasi a diverse altezze della stessa facciata, al contrario, i living walls sono basati su sistemi pannelli e feltri geotessili, fissati a un supporto verticale o alla struttura del muro. Similmente, Köhler (2008) indica quattro tipi di sistemi verdi verticali: la semplice vegetazione murale tra due diverse proprietà; le facciate verdi che coprono gli edifici attraverso rampicanti vegetali piantati sia nel terreno che in vasi; i sistemi di pareti 'viventi' con fioriere e strutture per ancorare le piante; infine, le cosiddette 'in between green facades', con vegetazione messa a dimora in fioriere orizzontali e che fuoriesce dai cornicioni o dalle facciate. Un'ulteriore classificazione coerente è quella promossa da Safikhani et alii (2014), i quali organizzano i sistemi di verde verticale in quattro categorie: contro muro, rampicanti, sospesi e moduli, dove quest'ultimo si riferisce a una tecnica a crescita rapida colorata, variegata, attraente e in cui si possono facilmente sostituire piante rovinare e appassite.

Secondo queste definizioni, le quali confermano molte altre classificazioni che i già citati ricercatori richiamano nei loro testi, il caso della nostra indagine appare una soluzione ibrida tra il muro vivente di Pérez et alii (2011) e il cosiddetto 'modulo' di cui alla classificazione di Safikhani et alii (2014). Infatti la soluzione sperimentata presso un dormitorio per persone senza dimora prevede una struttura autoportante fissata al suolo, in prossimità delle pareti e un sistema di vasi che ricopre l'intera struttura in acciaio dove sono messe a dimora piante precoltivate (Fig. 1-8).

Per quanto riguarda i benefici di questa NbS gli autori e i ricercatori, anche se con alcune distinzioni, concordano su tre categorie di benefici: ambientali, psicologici e sociali. Pérez et alii (2011) si concentrano principalmente sul risparmio energetico passivo derivante dall'intercettazione della radiazione solare, dall'isolamento termico e dalla riduzione del flusso di calore termico nell'edificio. Safikhani et alii (2014) hanno scritto di benefici ambientali, economici e sociali. Allo stesso modo, Perini et alii (2011) hanno raccolto i diversi vantaggi dei sistemi verdi verticali in tre categorie principali estetica, ambientale ed economica; in particolare è messo in evidenza come il verde migliori gli aspetti visivi, estetici e sociali dell'area urbana e contribuisca a migliorare la salute umana.



Fig. 1-4 | Images of the green wall (credit: Comune di Torino, 2021).

Altrove, Perini e Magliocco (2012) si sono concentrati sul fatto che le pareti verdi stimolano le nostre percezioni sensoriali e sociali, mettendo in moto ricordi, abitudini, pregiudizi, stereotipi, speranze, desideri, che influenzano le nostre opinioni e azioni. Tuttavia essi stessi sollevano anche dubbi che gli autori del presente articolo hanno rilevato nel proprio progetto, sul costo, sulla complessità del processo di allestimento e sulla sua gestione durante tutto il ciclo di vita. Su questo aspetto, al contrario, Köhler (2008) dissente affermando che le pareti verdi possono rappresentare un metodo economicamente vantaggioso per migliorare la dimensione ambientale di progetti di edilizia sociale, studentati, aree pedonali; l'autore infatti promuove una rappresentazione delle NbS che attraversa tutte le dimensioni di beneficio di cui sopra.

Come sinteticamente rappresentato, la letteratura sottolinea come gli sviluppi tecnici delle pareti verdi abbiano raggiunto un notevole livello di complessità. Tuttavia, l'innovazione che ProGREG promuove per le pareti verdi risiede principalmente nella co-progettazione con la comunità locale e la loro manutenzione condivisa, in una

prospettiva di bene comune. In questo senso il progetto ha dato per acquisiti i benefici ambientali e non ha messo in discussione ciò che la letteratura afferma sul miglioramento delle prestazioni ambientali dell'ambiente costruito e del suo contesto. Si è, invece, inteso esplorare quanto scritto da Radić, Dodig e Auer (2019) riguardo i benefici sociali: le pareti verdi, non importa quali, apportano un valore estetico nell'ambiente urbano, migliorano la salute umana e il benessere mentale delle persone; esse migliorano anche gli spazi pubblici e aggiungono identità a un edificio e possono avere un impatto positivo sulla riduzione del crimine, poiché i residenti di quartieri più 'verdi' dichiarano di vivere livelli inferiori di paura, percepiscono un minore senso di inciviltà e una riduzione di atteggiamenti violenti nel contesto della comunità di vicinato.

ProGREG, nel caso torinese, ha inteso indagare proprio la consistenza di questi vantaggi; coerentemente a questo mandato, si è operato in un'ottica di giustizia ambientale e sociale, non solo a livello redistributivo, ma anche riconoscendo bisogni, sensibilità e status di cittadinanza degli individui più fragili con cui si è lavo-

rato; si è trasferita la natura delle pareti verdi in contesti caratterizzati da forte deprivazione, esclusione e, come tali, non particolarmente attenzionati in termini di qualità ambientale e benessere. Come è stato condotto il progetto, come è stato co-progettato con gli stakeholder e gli utenti finali, cosa è stato previsto per facilitare i processi di coinvolgimento e co-produzione, è oggetto del prossimo paragrafo.

#### Metodologia e strumenti di co-creazione per i Living Labs nei distretti postindustriali | Il Living Lab di Mirafiori Sud ha inteso una partecipazione attiva dei cittadini e un loro empowerment attraverso meccanismi di relazioni e processi collaborativi, come la co-creazione (Baccarne et alii, 2014). Il coinvolgimento degli stakeholder locali comporta diverse conoscenze e risorse per generare risultati collegiali, aumentando la partecipazione della comunità nella co-produzione, co-implementazione e manutenzione della NbS (Breuer and Lüdeke-Freund, 2017). In particolare, la quadrupla elica come modello di co-creazione ha dimostrato di sostenere la governance includendo punti di vista 'bottom-up' della so-



Figg. 5-8 | Images of the green wall (credit: Comune di Torino, 2021).

cietà civile che integrano le prospettive 'top-down' di Università, industria e governo (Deakin and Reid, 2018). Tali processi di co-creazione hanno comportato l'inclusione di strumenti di valutazione affidabili per implementare soluzioni efficaci anche economicamente.

Il processo di co-creazione è iniziato con la configurazione della quadrupla elica di Mirafiori Sud attraverso una mappatura degli stakeholder (Friedman and Miles, 2006); i quattro gruppi di attori hanno costituito il gruppo di lavoro di base del Living Lab, rappresentato nella Tabella 1. Al fine di stabilire relazioni stabili e di collaborazione tra gli stakeholder, le attività di co-creazione all'interno del Living Lab di Mirafiori Sud hanno previsto analisi SWOT, visualizzazione dei dati e sessioni di co-design. L'analisi SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats), è uno strumento decisionale per interpretare l'impatto di vari fattori su diversi scenari a supporto della pianificazione strategica dello sviluppo sostenibile (Comino and Ferretti, 2016). In particolare, la SWOT è stata proposta come approccio comune per un'analisi spaziale e tematica dei diversi Living Lab coinvolti nel progetto proGI-

reg (Fig. 9). La SWOT di Mirafiori Sud comprende quattro domini di valutazione chiave: inclusione socio-culturale, salute e benessere umano, situazione ecologica e ambientale ed economia e mercato del lavoro.

Dopo la raccolta dei dati fatta in modo collegiale dagli stakeholder per la SWOT di Mirafiori Sud, i risultati sono stati rappresentati in mappe tematiche basate sui domini di valutazione sopra indicati. La visualizzazione dei dati ha facilitato l'interpretazione della complessità, attraverso un metodo induttivo qualitativo (Robson, 2002) e il dialogo tra stakeholder che possono avere prospettive di visione a breve, medio e lungo periodo anche molto diverse tra loro. La rappresentazione grafica del sistema del quartiere, evidenziando i fattori trainanti e le sfide, fornisce uno strumento pragmatico per una valutazione visiva delle conclusioni dell'analisi SWOT.

Infine lo scopo delle sessioni di co-progettazione è stato quello di ottenere una lettura efficace e olistica del quartiere, che permettesse un'analisi critica del contesto attraverso la connessione tra i dati presentati su ogni mappa SWOT, e di migliorare il senso di proprietà e responsa-

bilità degli stakeholder nei confronti delle NBS. Il coinvolgimento sistematico dei cittadini nel co-sviluppo transdisciplinare, nella co-implementazione e nella valutazione delle soluzioni ha garantito alti tassi di successo (Wieland et alii, 2012). La tavola rotonda è stata intesa come una pratica di co-progettazione, coinvolgendo le parti interessate affinché l'innovazione partecipativa potesse essere sollecitata e prototipata, ed è stata realizzata anche per mostrare le mappe SWOT a un pubblico più ampio e catturare un panorama più generale della potenziale implementazione delle NbS e del loro mantenimento nel tempo.

**Risultati** | L'analisi SWOT del Living Lab di Mirafiori Sud ha fornito un'analisi critica che ha permesso una profonda comprensione delle risorse del quartiere e delle sue caratteristiche potenziali per la rigenerazione urbana guidata dalle NbS. Inoltre la sintesi di questa valutazione qualitativa e quantitativa ha supportato il processo decisionale riguardo a quale tipo di NbS fosse più adatto ad affrontare le specificità e le sfide del quartiere (Barborič et alii, 2018). La visualiz-

| Quadruple Helix                                   | Stakeholder  |
|---|--|
| <b>Government</b>                                 | City of Turin Department of Innovation and Smart City                                  |
|   | Comitato Borgata Mirafiori (Local organisations)                                       |
|   | District government – Circostrizione 2 ( Local organisations)                          |
|   | City administration and agencies Città di Torino – Green spaces service                |
|   | Città di Torino – Large green infrastructure public service)                           |
|   | ARPA (Regional Environmental Protection Agency) Piemonte                               |
|   | ASL (Local Health Authority) Città di Torino   |
|   | ATC – Territorial Agency for Social Housing  |
| <b>Industry</b>                                   | AMIAT/IREN (Public Company waste/energy)   |
|   | FCA (Large Industry)   |
|   | TNE – Turin New Economy (Regeneration/Public Company)                                  |
| <b>Education and Research</b>                     | Politecnico di Torino (Higher Education)   |
|   | Università degli Studi di Torino (Higher Education)                                    |
|   | Primo Levi (School)  |
|   | Istituto Comprensivo Cairoli (School)  |
|   | Istituto Comprensivo Salvemini (School)  |
| <b>Communities</b>                                | Orti Alti (R&D)  |
|   | Fondazione Mirafiori (NGO)   |
|   | Mirafiori Verde Sociale (NGO)  |
|   | Essere anziani a Mirafiori Sud (NGO)   |
|   | Casa Farinelli (NGO)   |
|   | C.O.N. Tazzoli. Night shelter for Homeless people (Stranaidea social enterprise)       |
|   | Casa del Mondo Unito – Housing service for refugees (Progetto Tenda social enterprise) |
| CEPIM Families of People with Down Syndrome (NGO) |  |

Tab. 1 | Mirafiori South Living Lab Stakeholders – proGireg.

zazione SWOT ha fornito una rappresentazione grafica dei dati raccolti, la valutazione dei benefici delle NbS e i possibili dati da monitorare secondo i quattro domini precedentemente citati: il fine principale della visualizzazione è quello di mostrare potenziali connessioni tra i diversi dati quantitativi e qualitativi.

Queste mappe (Figg. 10-13), valutate e validate dagli stakeholder di Mirafiori Sud (Tab. 1) durante le tavole rotonde nelle sessioni di co-design, sono state utilizzate come apparato dialogico per connettere visioni, bisogni, desideri provenienti dai diversi stakeholder e raccogliere un'ampia gamma di elementi che potessero orientare il processo di definizione dei piani di rigenerazione urbana. La tavola rotonda è stata realizzata come un 'evento coinvolgente' (Meroni, Fassi and Simeone, 2013), per stimolare i partecipanti a identificare gli aspetti interessanti in ogni azione della progettazione e implementazione delle NbS e per far riflettere gli stakeholder sugli aspetti rilevanti del quartiere Mirafiori Sud in modo olistico. In particolare, i ricercatori/designer hanno agito come mediatori tra i dati SWOT e gli stakeholder di Mirafiori Sud, traducendo le informazioni date in un linguaggio visivo efficace e diretto (Celaschi, 2008) al quale è stato essenziale mettere i dati su un terreno comune dove tutti gli stakeholder di Mirafiori Sud potessero ac-

cedere e avere un dialogo orizzontale produttivo e collaborativo (Giraldo Nohra, Pereno and Barbero, 2020).

**Progetto e implementazione della parete verde** | I processi di sperimentazione delle NbS nel contesto del Living Lab di Mirafiori Sud, hanno previsto anche l'implementazione della parete verde di cui abbiamo parlato nei paragrafi precedenti; il progetto è tuttora in corso ed è condotto da un team di designer e da una sociologa del Politecnico di Torino; il gruppo si è occupato di gestire i processi di partecipazione e l'inclusione degli utenti finali, sia come momento funzionale al processo partecipativo sia come risultato dello stesso. Le fasi dell'allestimento della parete verde sono tre: una prima propedeutica all'avvio del progetto; una seconda di progettazione e costruzione; una terza di rilascio.

La prima fase ha riguardato l'identificazione di specifiche comunità di cittadini che rispondessero ai requisiti preliminari di proGireg, e che potessero concretamente beneficiare della NbS; è stata una fase in cui sono già tutte le caratteristiche di un processo di co-progettazione, in quanto sono stati condotti processi di 'voice' per rendere i potenziali beneficiari visibili ai decisori e far sentire le loro esigenze. Queste comunità sono state presentate al sistema di attori del pro-

getto come nuovi e ulteriori stakeholder attraverso mappe e infografiche; esse hanno fornito informazioni dettagliate ai beneficiari, come la posizione del sito in cui essi vivono, gli orari di apertura degli edifici, la tipologia di organizzazioni che gestiscono i servizi erogati nel sito e il relativo settore pubblico di riferimento. Inoltre il documento informava sullo stato della manutenzione dell'edificio: è stata anche discussa la condizione di vulnerabilità dei beneficiari e la misura dell'esclusione, anche in termini di cittadinanza percepita e durante questa fase la casa di accoglienza per persone senza dimora di Corso Tazzoli 76 è stata selezionata come sito di attuazione del progetto. Essa ospita 24h/24, ventiquattro uomini in stato di indigenza e gli operatori sociali della cooperativa sociale Stranaidea, che gestisce il servizio abitativo con un contratto pubblico sottoscritto con la Divisione Servizi Sociali della città di Torino.

La seconda fase del processo ha riguardato la progettazione e la posa in opera della parete stessa. Nel giugno 2019 è stato diffuso un avviso pubblico preliminare di gara per raccogliere proposte di soluzioni tecniche e per dare una consistenza al budget necessario e nel novembre 2019 è stato lanciato il bando di gara definitivo e la scelta dell'azienda è stata completata nel gennaio 2020. Tra gennaio e maggio, attraverso visite in loco e attività di co-progettazione, il progetto è stato implementato nella sua forma definitiva sulla base delle esigenze degli stakeholder e dei vincoli tecnici del sito e dell'immobile; da maggio a settembre 2020 si sono svolti i lavori di costruzione e la parete verde è stata messa in funzione.

Il risultato è un muro verde di 80 metri quadrati intorno alle pareti prefabbricate già esistenti dell'edificio 'temporaneo', ormai risalente a 20 anni fa. Il sistema verde è costituito da una struttura autoportante in alluminio con pilastri e travi, da vasi modulari montati con diverse configurazioni e posizioni per adattarsi alle finestre e alle porte dell'edificio retrostante e da un sistema di irrigazione automatica con fertilizzante alimentato da un'unità di controllo; l'orientamento sud, sud-ovest, massimizza l'effetto ombra. Arbusti, piante erbacee ed erbe aromatiche – sempreverdi, perenni, molto resistenti e con foglie di forma diversa – sono stati messi a dimora nei vasi appesi; inoltre si è prestata attenzione particolare a scegliere essenze diverse con fioriture diversificate durante l'anno.

Da settembre 2022 fino a maggio 2023 si svolgerà la terza fase di rilascio volta a un'appropriazione del sistema verde da parte della città e della cooperativa. Il gruppo di co-progettazione sta gestendo questa fase attraverso cicli di pratiche partecipative che riguardano l'orticoltura, la botanica e la potatura della vegetazione del muro; esse coinvolgono le persone senza dimora e gli operatori sociali che seguono i singoli casi. Il progetto è ancora in corso, ma alcuni risultati preliminari possono essere discussi dalla prospettiva del progetto partecipativo. Per quanto riguarda il prodotto è possibile affermare che il muro verde genera una funzione migliorativa su un'architettura estremamente fragile e, peraltro, soggetta a una grave obsolescenza tecnologica e semantica.

Sul piano dell'obsolescenza semantica, il mu-

ro verde ha ridisegnato un edificio che nella memoria collettiva del quartiere era solo un luogo 'invisibile' di grave povertà; in questo senso il muro verde è stato impiegato per connotare positivamente la casa di accoglienza e per portare natura, benessere e comfort ai senzatetto, riconoscendo loro il diritto alla cittadinanza e alla bellezza. A livello di obsolescenza tecnica e tecnologica, l'allestimento sembra contribuire a migliori performances termiche attraverso l'intercettazione della radiazione solare, grazie all'ombreggiamento delle barriere vegetali e alla riduzione del fenomeno delle isole di calore in estate.

Per quanto riguarda la partecipazione pubblica (Arnstein, 2019), in conformità con le linee guida di proGleg, il processo di co-progettazione ha coinvolto tutti i soggetti che durante l'intero ciclo di vita del progetto avrebbero interagito con la nuova parete. In particolare sono state sperimentate tre diverse azioni di co-progettazione: 1) in termini di policy design (Fisher, 2009) e design for public good (McNabola et alii, 2013), si è supportata l'Amministrazione pubblica nell'identificazione dei beneficiari più richiedenti e nella scelta del sito di progetto più strategico, rappresentando le istanze di cittadini che sono invisibili ai più e non ascoltati; 2) in termini di participatory product design (Simonsen and Robertson, 2013), relativamente alla definizione partecipata del muro verde sul sito, sono stati accompagnati e facilitati l'ingaggio reciproco, la relazione e la collaborazione tra gli utenti di produzione – l'Amministrazione pubblica e i fornitori delle soluzioni tecnologiche – e quelli di gestione e di uso finale, operatori sanitari e persone che abitano la struttura abitativa; 3) in termini di co-produzione (Boyle and Harris, 2009) sono state progettate e pianificate azioni per promuovere il senso di proprietà condivisa, il rispetto e la cura della parete e della sua vegetazione, azioni, queste ultime, che saranno utili quando la gestione ordinaria del sistema verde verticale, così come il monitoraggio del funzionamento, saranno sotto la responsabilità della città e della cooperativa.

Alla luce delle tre fasi e delle azioni condotte, relativamente al ruolo dei designer, è possibile concludere che gran parte del lavoro di co-progettazione del gruppo di ricerca è stato orientato non tanto alla progettazione stessa del muro, per la quale sono stati incaricati specifici progettisti, quanto nell'accompagnare ogni fase e momento decisionale del processo progettuale; si è trattato di rappresentare le esigenze del sistema di attori, di mediare tra esse e di fare in modo che esse fossero incorporate al meglio nella progettazione di dettaglio. Questa attività ha molto a che fare con ciò che Björjvinsson, Ehn e Hillgren (2012) chiamano 'infrastructuring', un processo continuo di costruzione di relazioni tra diversi attori che, attraverso un approccio più organico, facilita l'emergere di possibilità lungo l'intero processo e nuove opportunità progettuali attraverso un continuo processo di match-making. Nel caso presentato, quindi, la co-progettazione ha significato soprattutto 'connettere' la Pubblica Amministrazione, le organizzazioni e gli individui intorno a una questione comune; connettere, tenere insieme, far lavorare gli uni con gli altri è stata dunque la strategia sistemica di progettazione che ha permesso di ga-

rantire la partecipazione di tutti gli attori e, allo stesso tempo, raggiungere l'obiettivo che il design si è dato, per favorire i processi inclusivi previsti dal progetto complessivo.

**Discussione e considerazioni finali** | Il contributo ha discusso lo sviluppo delle pareti verdi NbS in una delle strutture abitative per i senzatetto nel quartiere di Mirafiori Sud e lo ha messo in relazione con tutte le altre NbS del Living Lab torinese, procedendo a prime riflessioni sul processo di co-progettazione e implementazione del sistema verticale. La letteratura sottolinea la rilevanza dei Living Labs nei distretti post-industriali come strumento rigenerativo. I risultati dei processi di co-creazione, delle mappe di visualizzazione SWOT e delle sessioni di sense-making hanno guidato l'implementazione della parete verde. In questo processo il ruolo del ricercatore/designer come mediatore tra differenti stakeholder è stato quello di tradurre le informazioni rilevate in un linguaggio visivo efficace e diretto e facilitare un dialogo tanto costruttivo quanto pragmatico. Inoltre è importante sottolineare il ruolo del Comune di Torino che è stato fondamentale nella tutela del progetto come bene comune e della sua riconnessione con le comunità emarginate: i risultati riferiscono che questa NbS potrebbe essere una soluzione in più nel lavoro della città per l'inclusione delle comunità emarginate; allo stesso tempo, in linea con i processi di rigenerazione di aree post-industriali come Mirafiori Sud, essa va nella direzione dei diritti delle comunità locali a una migliore qualità della vita e alla bellezza.

Nel loro complesso, le esperienze di co-progettazione condotte nel Living Lab Torinese, anche attraverso l'approccio a quadrupla elica adottato, hanno assicurato la partecipazione e la consapevolezza pubblica, aprendo il progetto ad un ampio spettro di attori. Da questo punto di vista, proprio attraverso la sperimentazione di NbS, tra cui le stesse pareti verdi, la città ha potuto sollecitare l'attenzione dei cittadini verso l'idea che anche i processi di rigenerazione degli ecosistemi naturali possano essere dispositivi utili verso una maggiore coesione sociale. Tali esperienze evidenziano un ruolo centrale del design, sia come disciplina che come pratica, nell'accompagnare, con specifiche modalità e strumenti, i diversi processi progettuali; restano invece sospese, e oggetto di ulteriori studi, questioni cruciali come la resilienza, nel tempo lungo, dei risultati della co-progettazione implementata nel Living Lab locale, l'affidabilità e la scalabilità delle sperimentazioni nel contesto più ampio di altri Living Lab cittadini e la sostenibilità economica delle stesse.

The transition to post-industrial models and relocations have left many former manufacturing cities with empty areas in advanced decay. Today, many of these cities face the challenges of de-industrialisation, regeneration of infrastructure and public places and the inevitable rethinking of their identity; they do so by undertaking major transitions towards models of greater environmental, social and economic sustainability. Post-industrial heritage can be considered and val-

ued as a resource for promoting thriving and resilient urban systems (Bulkeley, Broto and Edwards, 2012). In this framework of potential sustainability, Nature-based Solutions (NbSs) emerge as one of the possible answers for the renaturalisation of cities through the use of natural systems-based technologies, especially if they are interpreted not as punctual elements of the urban fabric but as elements of a larger and more complex system (Ernstson et alii, 2010). NbS can also be a tool for the promotion of social cohesion and collaboration among citizens: in the case at hand, the implementation and development of NbS took place within the framework of so-called Living Labs, which facilitated the experimentation of sustainable solutions and enabled local stakeholders to choose the most appropriate ones, co-design them, test them and learn them (and from them) in a collaborative way (Ascione et alii, 2021).

This text intends to investigate precisely the participatory processes, methods and tools used to support the regeneration of post-industrial urban areas supported by NbS. In particular, the experimentation to which this contribution devotes attention took place within the framework of the Horizon 2020 proGleg (productive Green Infrastructure for post-industrial urban regeneration, 2018-2023) project that aims to test precisely the use of NbSs as devices to efficiently and sustainably address the social, economic and environmental challenges of the regeneration and ecological transition of post-industrial neighbourhoods in the cities of Dortmund, Turin, Zagreb and Ningbo. The case of the Mirafiori Sud neighbourhood in Turin will be discussed, focusing on the implementation of a green wall at a housing facility for homeless people in the city. This will highlight the opportunities and difficulties of the design and implementation process, the impacts of the proposed solution on actors and places and, finally, some reflections on the replicability and scalability of the experiment in the broader context of the city's Living Labs.

This article is structured in three sections: the first presents a review of the literature on Living Labs in post-industrial districts as a regenerative tool and, in particular, on the role of green walls in this process; the second reports the results of the co-creation process, the maps and sense-making sessions that led to the implementation of the green wall and the actions that guided its design development; the third discusses the results of the experience, exploring the

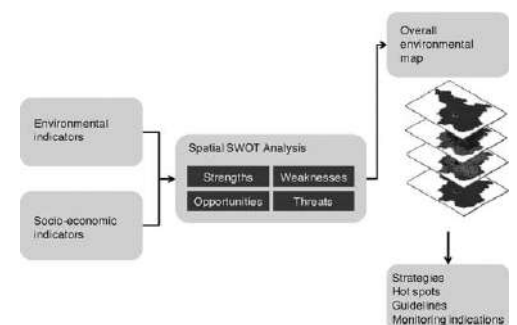


Fig. 9 | Methodological flow chart for the Spatial SWOT Analysis (source: Comino and Ferretti, 2016).



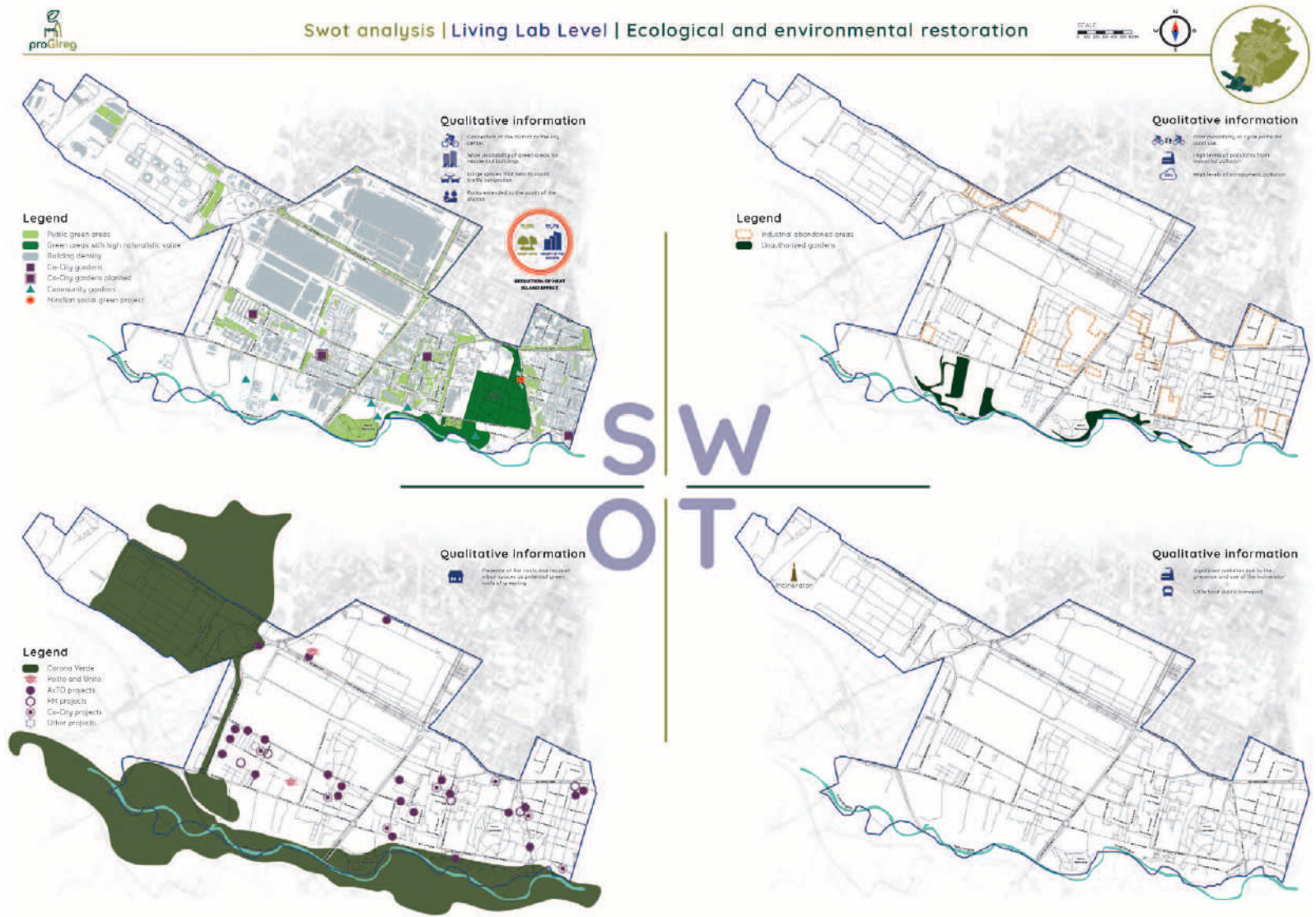


Fig. 10 | Mirafiori Turin: SWOT Analysis, Living Lab Level, Ecological and Environmental Restoration (credit: proGireg, 2016).

challenges and opportunities of the NbSs co-design process concerning the role that the discipline of Design had in accompanying the processes.

**Post-industrial districts towards regeneration** | Some scholars have pointed out that NbS can provide a practical approach to deindustrialisation issues, promoting positive social, economic and environmental impacts such as improved quality of life and increased property values, precisely through the regeneration of the natural context (Song et alii, 2019). In this sense, NbSs have been defined as ‘ecosystem services’ that facilitate natural processes within highly humanised contexts: urban agriculture, aquaponics, urban forests (Davies and Laforteza, 2017), pollinator gardens and green walls demonstrate that they can improve city contexts, promote people’s well-being and create new relationships between the community and natural ecosystems (Gulsrud, Hertzog and Shear, 2018).

However, investment in NbS is often limited to one-off interventions financed by the public sector, which considers them to be collective goods for free use: their management and maintenance are subject to a lack of adequate and lasting resources that compromise the sustainability, ac-

cessibility and usability desired by the projects themselves. These complexities and uncertainties, which characterise many NbS experiences, suggest the implementation of participatory experimentation frameworks such as Living Labs and approaches oriented towards a strong involvement of all actors so that these solutions are co-designed and adapted to the needs of the city and its citizens (Nel and Nel, 2021).

**Living Labs in post-industrial neighbourhoods** | Today, many post-industrial cities include NbSs in their city-planning agendas; it is a trend that, in many pilot projects, includes the implementation of these systemic solutions in the context of Living Labs (Frantzeskaki and Kabisch, 2016). The latter are innovative, publicly funded urban ecosystems where stakeholders can collaborate to test and evaluate innovative technologies, including NbS (Felson et alii, 2013). In the present case, co-design tools were applied in the implementation of a Living Lab aimed at the promotion and experimentation of NbS in the Mirafiori Sud neighbourhood in Turin; this neighbourhood is the most significant example of an Italian ‘factory city’ and brings together 40,000 inhabitants in 12 sq. km.

Its history is intertwined with FIAT (Fabbrica

Italiana Automobili Torino), which made Turin the ‘city of the car’; during the crisis of Fordism in the 1990s, more than six million square metres of industrial areas were abandoned, leaving extensive urban ‘voids’ in the district. Since then, the city has been tackling this phenomenon through various urban regeneration plans that preserve the history and value of the urban fabric. To efficiently and sustainably address the social, economic and environmental challenges of local deindustrialisation, the Living Lab of Mirafiori Sud was conceived on three levels: technical, by improving the Technology Readiness Level (TRL) of each NbS; social, by implementing a participatory process of co-design and co-implementation of the NbS; and economic, by consolidating the business models supporting the NbS themselves.

**Green walls** | Green walls are, for all intents and purposes, part of NbS and the broader category of green vertical systems, which are widely used as passive energy-saving systems; they combine nature, horticulture, botany and the artificial environment (Perini et alii, 2011). Today, rooted in the tradition of green architecture, these walls are enriched with material and technological innovations, promoting more sustainable build-

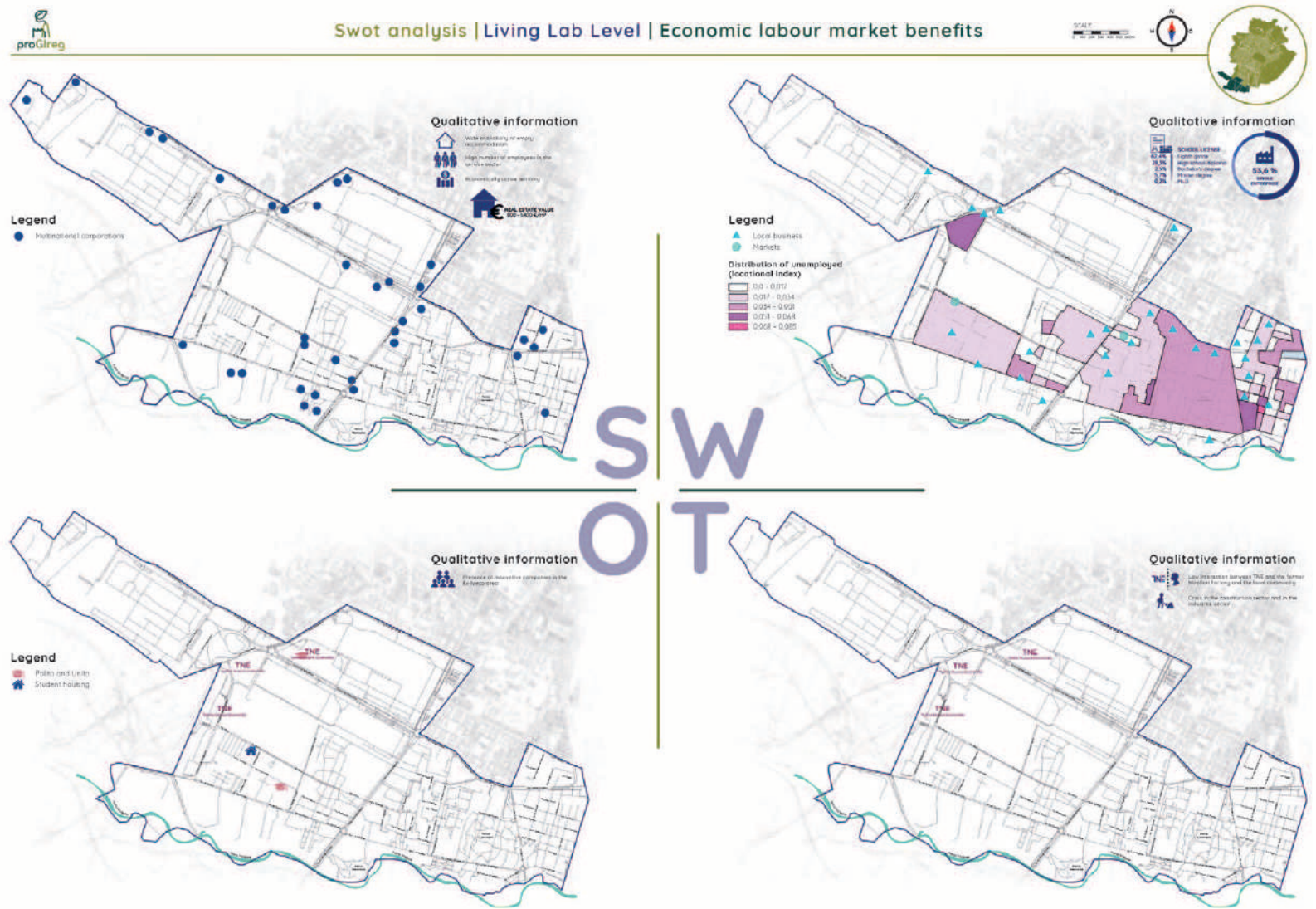


Fig. 11 | Mirafiori Turin: SWOT Analysis, Living Lab Level, Economic Labour Market Benefits (credit: proGReg, 2016).

ing functions than the original green façades. Currently, the literature focuses on two aspects of the topic: defining what green walls are, distinguishing them from other forms of vertical green systems, and exploring the multidimensional benefits of their implementation in urban settings.

Pérez et alii (2011) differentiate green façades from so-called living walls; green façades are systems in which climbing or hanging plants cover parts of a building and can be planted in the ground or pots at different heights of the same façade. In contrast, living walls are based on geotextile panels and felt systems attached to vertical support or wall structure. Similarly, Köhler (2008) points to four types of vertical green systems: simple wall vegetation between two different properties; green façades that cover buildings employing creeping vegetation planted either in the ground or pots; 'living' wall systems with planters and structures to anchor the plants; and finally, so-called 'in-between green façades', with vegetation planted in horizontal planters and growing out of cornices or façades. A further consistent classification is the one promoted by Safikhani et alii (2014), who organise vertical green systems into four categories: against the wall, climbing, hanging and modules, where the latter refers to a colourful, variegated, attrac-

tive, fast-growing technique in which damaged and withered plants can easily be replaced.

According to these definitions, which confirm many other classifications that the researchers mentioned above refer to in their texts, the case of our investigation appears to be a hybrid solution between the living wall of Pérez et alii (2011) and the so-called 'module' referred to in the classification of Safikhani et alii (2014). The solution tested at a dormitory for homeless people involves a self-supporting structure fixed to the ground, close to the walls, and a system of pots covering the entire steel structure where pre-cultivated plants are planted (Figg. 1-8).

Regarding the benefits of this NbS, the authors and researchers, albeit with some distinctions, agree on three categories of benefits: environmental, psychological and social. Pérez et alii (2011) focus mainly on passive energy savings from the interception of solar radiation, thermal insulation and the reduction of thermal heat flow in the building. Safikhani et alii (2014) wrote about environmental, economic and social benefits. Similarly, Perini et alii (2011) compiled the various benefits of vertical green systems into three main categories aesthetic, environmental and economic. In particular, they highlighted how greenery improves the visual, aesthetic and so-

cial aspects of the urban area and contributes to improving human health.

Elsewhere, Katia Perini and Adriano Magliocco (2012, p. 85) focused on the fact that green walls «[...] stimulate our sensory and social perceptions, setting in motion memories, habits, prejudices, stereotypes, hopes, desires, which influence our opinions and actions». However, they also raise doubts, which the authors of this article noted in their project, about cost, the complexity of the set-up process and its management throughout the life cycle. On this aspect, on the contrary, Köhler (2008) disagrees, stating that green walls can be a cost-effective method to improve the environmental dimension of social housing projects, student halls, and pedestrian areas; in fact, the author promotes a representation of NbS that crosses all the dimensions of the benefit, as mentioned above.

As briefly represented, the literature underlines how technical developments in green walls have reached a considerable level of complexity. However, the innovation that proGReg promotes for green walls lies mainly in the co-design with the local community and their shared maintenance, in a common good perspective. In this sense, the project took environmental benefits for granted and did not question the litera-

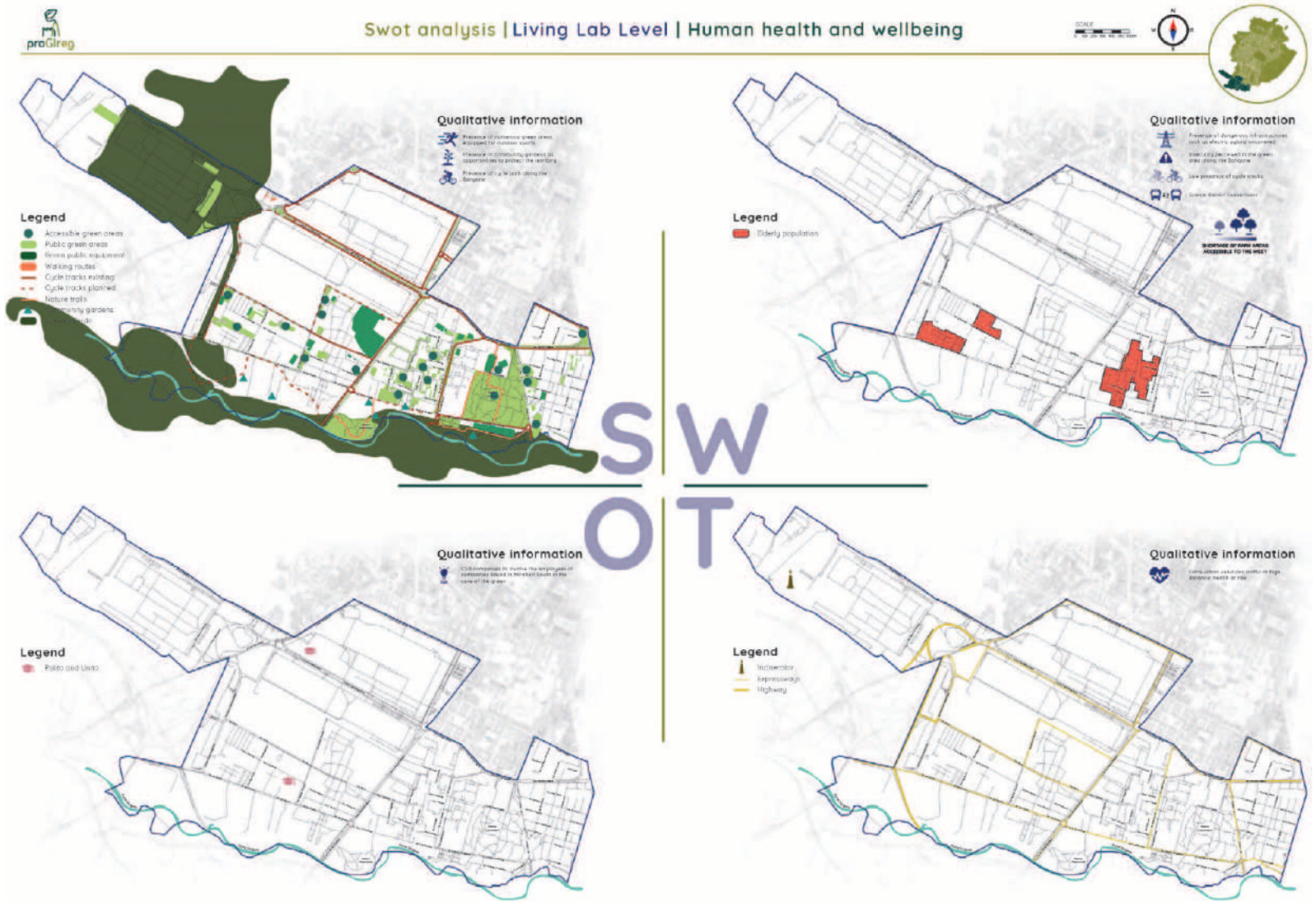


Fig. 12 | Mirafiori Turin: SWOT Analysis, Living Lab Level, Human Health and Wellbeing (credit: proGReg, 2016).

ture on improving the built environment’s environmental performance of the built environment and context. Instead, we set out to explore what Radić, Dodig and Auer (2019) have written about the social benefits: green walls, no matter what they are, bring aesthetic value to the urban environment, improve human health and people’s mental well-being; they also improve public spaces and add identity to a building, and can have a positive impact on crime reduction, as residents of ‘greener’ neighbourhoods report experiencing lower levels of fear, a reduced sense of incivility and a reduction in violent attitudes in the context of the neighbourhood community.

ProGReg, in the case of Turin, set out to investigate precisely the consistency of these advantages. Consistent with this mandate, it operated with a view to environmental and social justice, not only at the redistributive level but also recognising the needs, sensitivities and citizenship status of the most fragile individuals with whom it worked; it transferred the nature of green walls to contexts characterised by solid deprivation, exclusion and, as such, not particularly attentive in terms of environmental quality and well-being. How the project was conducted, how it was co-designed with stakeholders and end-users, and what was planned to facili-

itate the processes of involvement and co-production is the subject of the next section.

#### Co-creation methodology and tools for Living Labs in post-industrial districts

The Living Lab in Mirafiori Sud intended to encourage citizens’ active participation and empowerment through mechanisms of relationships and collaborative processes, such as co-creation (Baccarne et alii, 2014). The involvement of local stakeholders involves diverse knowledge and resources to generate collegial outcomes, increasing community participation in the co-production, co-implementation and maintenance of the NbS (Breuer and Lüdeke-Freund, 2017). In particular, the quadruple helix as a co-creation model has been shown to support governance by including ‘bottom-up’ perspectives from civil society that complement ‘top-down’ perspectives from academia, industry and government (Deakin and Reid, 2018). Such co-creation processes have also involved the inclusion of reliable evaluation tools to implement cost-effective solutions.

The co-creation process started with the configuration of the quadruple helix of Mirafiori Sud through stakeholder mapping (Friedman and Miles, 2006); the four groups of actors formed the Living Lab core working group, represented

in Table 1. In order to establish stable and collaborative relationships between stakeholders, co-creation activities within the Living Lab in Mirafiori Sud included SWOT analysis, data visualisation and co-design sessions. SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) analysis is a decision-making tool to interpret the impact of various factors on different scenarios to support strategic planning for sustainable development (Comino and Ferretti, 2016). In particular, SWOT analysis was proposed as a standard approach for spatial and thematic analysis of the different Living Labs involved in the proGReg project (Fig. 9). The Mirafiori Sud SWOT comprises four key evaluation domains: socio-cultural inclusion, health and human well-being, ecological and environmental situation and economy and labour market.

After data were collectively collected from the stakeholders for the Mirafiori Sud SWOT, the results were represented in thematic maps based on the evaluation domains indicated above. The visualisation of the data facilitated the interpretation of complexity through a qualitative inductive method (Robson, 2002) and dialogue between stakeholders who may have very different short, medium and long term perspectives. The graphic representation of the neighbourhood

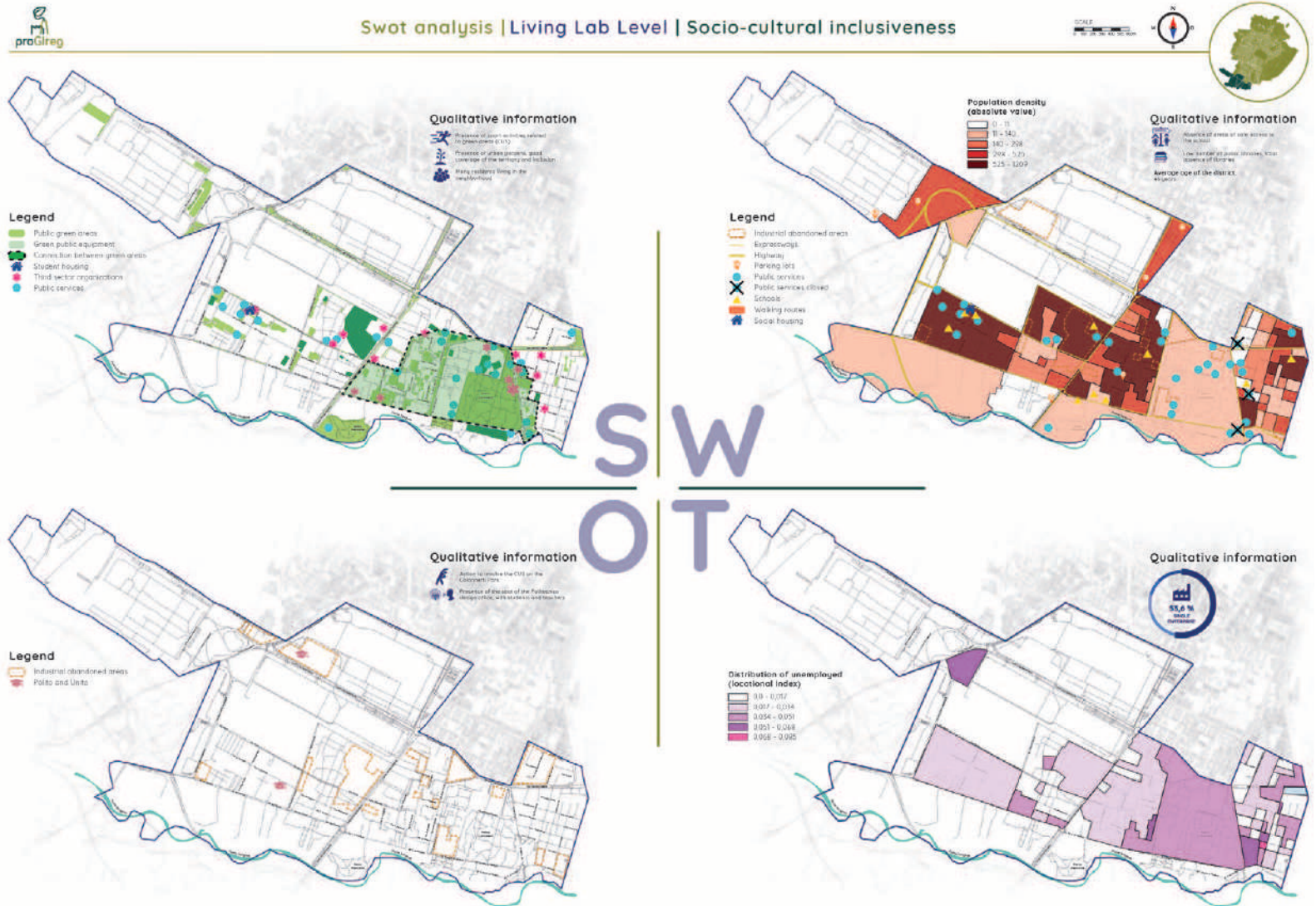


Fig. 13 | Mirafiori Turin: SWOT Analysis, Living Lab Level, Socio-cultural Inclusioness (credit: proGReg, 2016).

system, highlighting drivers and challenges, provides a practical tool for a visual evaluation of the SWOT analysis conclusions.

Finally, the co-design sessions aimed at obtaining an effective and holistic reading of the neighbourhood, allowing for a critical analysis of the context through the connection between the data presented on each SWOT map, and improving the stakeholders' sense of ownership and responsibility towards the NbS. The systematic involvement of citizens in transdisciplinary co-development, co-implementation and evaluation of solutions ensured high success rates (Wieland et alii, 2012). The roundtable was intended as a co-design practice involving stakeholders so that participatory innovation could be solicited and prototyped. It was also carried out to show SWOT maps to a broader audience and capture a more general overview of the potential implementation of NbSs and maintenance over time.

**Results** | The SWOT analysis of the Living Lab in Mirafiori Sud provided a critical analysis that allowed a deep understanding of the neighbourhood's resources and its potential characteristics for NbS-led urban regeneration. Furthermore, the synthesis of this qualitative and quantitative assessment supported the decision-making pro-

cess regarding which type of NbS was best suited to address the specificities and challenges of the neighbourhood (Barborič et alii, 2018). The SWOT visualisation provided a graphical representation of the collected data, the assessment of the benefits of NbS and possible data to be monitored according to the four previously mentioned domains: the primary purpose of the visualisation is to show potential connections between the different quantitative and qualitative data.

These maps (Fig. 10-13), assessed and validated by the Mirafiori Sud stakeholders (Tab. 1) during the round tables in the co-design sessions, were used as a dialogical apparatus to connect visions, needs, and desires coming from the different stakeholders and to collect a wide range of elements that could orientate the process of defining urban regeneration plans. The round table was realised as an 'engaging event' (Meroni, Fassi and Simeone, 2013) to stimulate the participants to identify the interesting aspects of each NbS design and implementation action and make the stakeholders reflect on the relevant aspects of the Mirafiori Sud neighbourhood holistically. In particular, the researchers/designers acted as mediators between the SWOT data and the Mirafiori Sud stakeholders, translating the given in-

formation into a practical and direct visual language (Celaschi, 2008) to which it was essential to put the data on a common ground where all Mirafiori Sud stakeholders could access and have a productive and collaborative horizontal dialogue (Giraldo Nohra, Pereno and Barbero, 2020).

### Design and implementation of the green wall

| The experimentation processes of the NbS in the context of the Living Lab in Mirafiori Sud also included the implementation of the green wall, which we have discussed in the preceding paragraphs; the project is still in progress and is led by a team of designers and a sociologist from Politecnico di Torino; the group was responsible for managing the processes of participation and the inclusion of the end-users, both as a functional moment in the participatory process and as a result of it. There were three phases in setting up the green wall: an initial preparatory one at the start of the project, a second design and construction, and a third one of release.

The first phase involved the identification of specific communities of citizens who met the preliminary requirements of proGReg, and who could concretely benefit from the NbS; it was a phase in which all the characteristics of a co-design process were already in place, as 'voice' processes

were conducted to make the potential beneficiaries visible to the decision-makers and make their needs heard. These communities were presented to the project's system of actors as new and additional stakeholders through maps and infographics; these provided detailed information to the beneficiaries, such as the location of the site where they live, the opening hours of the buildings, the type of organisations managing the services provided at the site, and the relevant public sector. In addition, the document had informed about the state of maintenance of the building: the vulnerability condition of the beneficiaries and the extent of exclusion, also in terms of perceived citizenship, were also discussed, and during this phase, the home for the homeless in Corso Tazzoli 76 was selected as the site for implementing the project. It houses 24 hours a day twenty-four men in a state of destitution and the social workers of the Stranaidea social cooperative, which manages the housing service under a public contract signed with the Social Services Division of Turin.

The second phase of the process involved designing and installing the green wall itself. In June 2019, a preliminary public tender notice was circulated to collect technical solutions proposals and flesh out the necessary budget. In November 2019, the final tender was launched, and the company's selection was finalised in January 2020. Between January and May, the project was implemented in its final form through site visits and co-design activities based on stakeholder needs and the technical constraints of the site and building; from May to September 2020, construction work took place, and the green wall was put into operation.

The result is an 80-square-metre green wall around the existing prefabricated walls of the 20-year-old 'temporary' building. The green system consists of a self-supporting aluminium structure with pillars and beams, modular pots mounted in different configurations and positions to adapt to the windows and doors of the building behind, and an automatic irrigation system with fertiliser fed from a control unit; the south, south-west orientation maximises the shade effect. Shrubs, herbaceous plants and aromatic herbs – evergreen, perennial, very hardy and with different shaped leaves – have been planted in hanging pots; special care has also been taken to choose different essences with diversified flowering throughout the year.

From September 2022 until May 2023, the third release phase will take place, aimed at an appropriation of the green system by the city and the cooperative. The co-design team manages this phase through cycles of participatory practices involving horticulture, botany and pruning of the wall vegetation; they involve homeless people and social workers following the individual cases. The project is still ongoing, but some preliminary results can be discussed from the perspective of the participatory project. As far as the product is concerned, it can be said that the green wall generates an ameliorative function on an architecture that is highly fragile and subject to severe technological and semantic obsolescence.

On the level of semantic obsolescence, the green wall has redesigned a building that, in the

collective memory of the neighbourhood, was only an 'invisible' place of severe poverty; in this sense, the green wall has been used to connote the shelter positively and to bring nature, well-being and comfort to the homeless, recognising their right to citizenship and beauty. At the level of technical and technological obsolescence, the layout seems to contribute to better thermal performance through the interception of solar radiation, thanks to the shading of the vegetation barriers and the reduction of the heat island phenomenon in summer.

About public participation (Arnstein, 2019), following proGREG's guidelines, the co-design process involved all stakeholders who would interact with the new wall during the entire project life cycle. In particular, three different co-designing actions were tried out 1) in terms of policy design (Fisher, 2009) and design for public good (McNabola et alii, 2013), the public administration was supported in identifying the most requesting beneficiaries and in choosing the most strategic project site, representing the instances of citizens who are invisible to most and not listened to; 2) in terms of participatory product design (Simonsen and Robertson, 2013), with regard to the participatory definition of the green wall on the site, the mutual engagement, relationship and collaboration between the production users – the public administration and the suppliers of the technological solutions – and the management users and end-users, health workers and people living in the housing structure were accompanied and facilitated; 3) in terms of co-production (Boyle and Harris, 2009), actions have been designed and planned to promote a sense of shared ownership, respect and care for the wall and its vegetation, actions that will be useful when the day-to-day management of the vertical green system, as well as the monitoring of its operation, will be under the responsibility of the city and the cooperative.

In the light of the three phases and the actions carried out regarding the role of the designers, it is possible to conclude that a large part of the co-design work of the research group was oriented not so much towards the design of the wall itself, for which specific designers were commissioned, but in accompanying each phase and decision-making moment of the design process; it was a matter of representing the needs of the system of actors, mediating between them and ensuring that they were best incorporated into the detailed design. This activity has much to do with what Björgvinsson, Ehn and Hillgren (2012) call 'infrastructuring', a continuous process of building relationships between different actors that, through a more organic approach, facilitates the emergence of possibilities throughout the process and new design opportunities through a continuous process of match-making. In the case presented, therefore, co-designing meant, above all, 'connecting' the public administration, organisations and individuals around a common issue; connecting, holding together, and making each other work was, therefore, the systemic design strategy that made it possible to guarantee the participation of all actors and, at the same time, achieve the objective that the design set itself, to foster the inclusive processes envisaged by the overall project.

**Discussion and Final Considerations** | The contribution discussed the development of green walls NbS in one of the housing facilities for the homeless in the Mirafiori Sud district. It related it to all the other NbSs in the Turin Living Lab, proceeding to initial reflections on the co-design and implementation process of the vertical system. The literature underlines the relevance of Living Labs in post-industrial districts as a regenerative tool. The results of co-creation processes, SWOT visualisation maps and sense-making sessions guided the implementation of the green wall. In this process, the role of the researcher/designer as a mediator between different stakeholders was to translate the sensed information into a practical and direct visual language and facilitate a dialogue that was as constructive as it was pragmatic. Furthermore, it is essential to emphasise the role of the City of Turin, which has been fundamental in protecting the project as a common good and its reconnection with marginalised communities: the results tell us that this NbS could be one more solution in the city's work for the inclusion of marginalised communities; at the same time, in line with the regeneration processes of post-industrial areas such as Mirafiori Sud, it goes in the direction of the rights of local communities to a better quality of life and beauty.

In their entirety, the co-design experiences conducted in the Turin Living Lab, also through the quadruple helix approach adopted, ensured public participation and awareness, opening up the project to a broad spectrum of actors. From this point of view, it was precisely through the experimentation of NbSs, including the green walls themselves, that the city was able to solicit the attention of citizens toward the idea that the regeneration processes of natural ecosystems can also be valuable devices for greater social cohesion. These experiences highlight a central role of design, both as a discipline and as a practice, in accompanying, with specific methods and tools, the various design processes; however, crucial issues such as the resilience, over the long term, of the results of the co-design implemented in the local Living Lab, the reliability and scalability of the experiments in the broader context of another city Living Labs, and their economic sustainability, remain suspended and the subject of further study.

## Acknowledgements

The research leading to these results was funded by the European Union's Horizon 2020 Innovation Action Programme under Grant Agreement No. 776528. The responsibility for the content lies solely with the proGReg project and in no way reflects the views of the European Union.

## References

- Arnstein, S. R. (2019), "A Ladder of Citizen Participation", in *Journal of the American Planning Association*, vol. 85, issue 1, pp. 24-34. [Online] Available at: doi.org/10.1080/01944363.2018.1559388 [Accessed 25 March 2022].
- Ascione, G. S., Cuomo, F., Mariotti, N. and Corazza, L. (2021), "Urban Living Labs, Circular Economy and Nature-Based Solutions – Ideation and Testing of a New Soil in the City of Turin Using a Multi-stakeholder Perspective", in *Circular Economy and Sustainability*, vol. 1, issue 2, pp. 545-562. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s43615-021-00011-6 [Accessed 25 March 2022].
- Baccarne, B., Mechant, P., Schuurman, D., Colpaert, P. and De Marez, L. (2014), "Urban socio-technical innovations with and by citizens", in *Interdisciplinary Studies Journal*, vol. 3, issue 4, pp. 143-156. [Online] Available at: hdl.handle.net/1854/LU-4365378 [Accessed 25 March 2022].
- Barborič, B., Baloh, M., Zuti, B., Podani, K., Udvari, B., Lukovics, M., Burzacchini, A., Philipp, A. and Winter, M. (2018), *Territorial Attractiveness Monitoring Platform – A Handbook for Policy Planners*, Urbasofia Srl and Geodetski inštitut Slovenije, Bucharest. [Online] Available at: ssn.com/abstract=3331007 [Accessed 25 March 2022].
- Björgvinsson, E., Ehn, P. and Hillgren, P. A. (2012), "Design things and design thinking – Contemporary participatory design challenges", in *Design Issues*, vol. 28, issue 3, pp. 101-116. [Online] Available at: doi.org/10.1162/DESI\_a\_00165 [Accessed 25 March 2022].
- Boyle, D. and Harris, M. (2009), *The challenge of co-production – How equal partnerships between professionals and the public are crucial to improving public services*. [Online] Available at: camdencen.org.uk/Resources/Public%20services/The\_Challenge\_of\_Co-production.pdf [Accessed 25 March 2022].
- Breuer, H. and Lüdeke-Freund, F. (2017), "Values-based network and business model innovation", in *International Journal of Innovation Management*, vol. 21, issue 3, pp. 1-35. [Online] Available at: doi.org/10.1142/S1363919617500281 [Accessed 25 March 2022].
- Bulkeley, H., Broto, V. C. and Edwards, G. (2012), "Bringing climate change to the city – Towards low carbon urbanism?", in *Local environment*, vol. 17, issue 5, pp. 545-551. [Online] Available at: doi.org/10.1080/13549839.2012.681464 [Accessed 25 March 2022].
- Celaschi, F. (2008), "Design come mediatore tra bisogni – La cultura del progetto tra arte scienza e problemi quotidiani – L'esempio dei Beni Culturali", in Germak, C. (ed.), *Uomo al centro del progetto – Design per un nuovo umanesimo | Man at the Centre of the Project – Design for a New Humanism*, Allemandi, Torino, pp. 40-52. [Online] Available at: documen.site/download/uomo-al-centro-del-progetto-design-per-un-nuovo\_pdf [Accessed 25 March 2022].
- Comino, E. and Ferretti, V. (2016), "Indicators-based spatial SWOT analysis – Supporting the strategic planning and management of complex territorial systems", in *Ecological Indicators*, vol. 60, pp. 1104-1117. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.09.003 [Accessed 25 March 2022].
- Davies, C. and Laforteza, R. (2017), "Urban green infrastructure in Europe – Is greenspace planning and policy compliant?", in *Land use policy*, vol. 69, pp. 93-101. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.08.018 [Accessed 25 March 2022].
- Deakin, M. and Reid, A. (2018), "Smart cities – Undergridding the sustainability of city-districts as energy efficient-low carbon zones", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 173, pp. 39-48. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.054 [Accessed 25 March 2022].
- Ernstson, H., van der Leeuw, S. E., Redman, C. L., Meffert, D. J., Davis, G., Alfson, C. and Elmqvist, T. (2010), "Urban transitions – On urban resilience and human-dominated ecosystems", in *Ambio – A Journal of Environment and Society*, vol. 39, issue 8, pp. 531-545. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s13280-010-0081-9 [Accessed 25 March 2022].
- Felson, A. J., Pavao-Zuckerman, M., Carter, T., Montalto, F., Shuster, B., Springer, N., Stander, E. K. and Starry, O. (2013), "Mapping the design process for urban ecology researchers", in *BioScience*, vol. 63, issue 11, pp. 854-865. [Online] Available at: doi.org/10.1525/bio.2013.63.11.4.2016010 [Accessed 25 March 2022].
- Fisher, T. (2009), "Needed – Design in the Public Interest", in *The Chronicle of Higher Education*, 01/05/2009. [Online] Available at: chronicle.com/article/needed-design-in-the-public-interest/ [Accessed 25 March 2022].
- Frantzeskaki, N. and Kabisch, N. (2016), "Designing a knowledge co-production operating space for urban environmental governance – Lessons from Rotterdam, Netherlands and Berlin, Germany", in *Environmental Science & Policy*, vol. 62, pp. 90-98. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.envsci.2016.01.010 [Accessed 25 March 2022].
- Friedman, A. L. and Miles, S. (2006), *Stakeholders – Theory and practice*, Oxford University Press, Oxford.
- Giraldo Nohra, C., Pereno, A. and Barbero, S. (2020), "Systemic design for policy-making – Towards the next circular regions", in *Sustainability*, vol. 12, issue 11, pp. 1-22. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su12114494 [Accessed 25 March 2022].
- Gulsrud, N. M., Hertzog, K. and Shears, I. (2018), "Innovative urban forestry governance in Melbourne? Investigating 'green placemaking' as a nature-based solution", in *Environmental Research*, vol. 161, pp. 158-167. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.005 [Accessed 25 March 2022].
- Köhler, M. (2008), "Green facades-a view back and some visions", in *Urban Ecosystems*, vol. 11, pp. 423-436. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11252-008-0063-x [Accessed 25 March 2022].
- McNabola, A., Moseley, J., Reed, B., Bisgaard, T., Jossiasen, A. D., Melande, C., Whicher, A., Hytönen, J. and Schultz, O. (2013), *Design for public good*, Report 03/06/2013, Design Council. [Online] Available at: designcouncil.org.uk/resources/report/design-public-good [Accessed 25 March 2022].
- Meroni, A., Fassi, D. and Simeone, G. (2013), "Design for social innovation as a form of designing activism – An action format", in Nesta (ed.), *Social Frontiers – The next edge of social innovation research*, Glasgow Caledonian University, Glasgow.
- Nel, D. and Nel, V. (2021), "Governance for resilient smart cities", in Frank, A. I. and Silver, C. (eds), *Transformative Planning – Smarter, Greener and More Inclusive Practices*, Routledge, London. [Online] Available at: doi.org/10.4324/9781003178545 [Accessed 25 March 2022].
- Pérez, G., Rincón, L., Vila, A., González, J. M. and Cabeza, L. (2011), "Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings", in *Applied Energy*, vol. 88, issue 12, pp. 485-4859. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.06.032 [Accessed 25 March 2022].
- Perini, K. and Magliocco, A. (2012), "The Integration of Vegetation in Architecture, Vertical and Horizontal Greened Surfaces", in *International Journal of Biology*, vol. 4, issue 2, pp. 79-91. [Online] Available at: dx.doi.org/10.5539/ijb.v4n2p79 [Accessed 25 March 2022].
- Perini, K., Ottelé, M., Haas, E. M. and Raiteri, R. (2011), "Greening the building envelope, façade greening and living wall systems", in *Open Journal of Ecology*, vol. 1, issue 1, pp. 1-8. [Online] Available at: dx.doi.org/10.4236/oje.2011.11001 [Accessed 25 March 2022].
- Radić, M., Dodig, M. B. and Auer, T. (2019), "Green Facades and Living Walls – A Review Establishing the Classification of Construction Types and Mapping the Benefits", in *Sustainability*, vol. 11, issue 17, pp. 1-23. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su11174579 [Accessed 25 March 2022].
- Robson, C. (2002), *Real World Research*, Blackwell Publishing Ltd., Oxford.
- Safikhani, T., Abdullah, A. M., Ossen, D. R. and Baharvand, M. (2014), "A review of energy characteristic of vertical greenery systems", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 40, pp. 450-462. [Online] Available at: dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.166 [Accessed 25 March 2022].
- Simonsen, J. and Robertson, T. (eds) (2013), *Routledge international handbook of participatory design*, Routledge, London.
- Song, Y., Kirkwood, N., Maksimović, Č., Zheng, X., O'Connor, D., Jin, Y. and Hou, D. (2019), "Nature based solutions for contaminated land remediation and brown-field redevelopment in cities – A review", in *Science of The Total Environment*, vol. 663, pp. 568-579. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.347 [Accessed 25 March 2022].
- Wieland, H., Polese, F., Vargo, S. L. and Lusch, R. F. (2012), "Toward a service (eco) systems perspective on value creation", in *International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology*, vol. 3, issue 3, pp. 12-25. [Online] Available at: igi-global.com/article/content/71942 [Accessed 25 March 2022].

## DALLE SUPERILLAS AL TACTICAL GREENERY Sperimentazioni e strategie transcolari di rigenerazione vegetale dello spazio urbano

## FROM SUPERILLAS TO TACTICAL GREENERY Experiments and transcalar strategies of vegetal regeneration of urban space

Emanuela Coppola, Leonardo Zaffi, Michele D'Ostuni

### ABSTRACT

La nuova azione urbana, che pone al centro lo sviluppo del verde come strumento strategico per riqualificare la città non solo sotto il profilo ambientale ma anche sociale e culturale, è, nella sua forma più innovativa, il prodotto di iniziative transcolari condotte su piani diversi da una molteplicità di soggetti. Le sperimentazioni e le politiche sulla città e i quartieri interagiscono e si valorizzano nel rapporto con le tattiche locali e con le reti di micro interventi puntuali attraverso iniziative spontanee e dal basso. Il contributo intende evidenziare come oggi, in questa multiforme dimensione del progetto urbano, sussiste un filo conduttore indissolubile fra le esperienze di pianificazione a scala vasta (piani metropolitani comunali), quelle a scala di quartiere delle Superillas, delle Ville du quart d'heure e quelle riconducibili all'azione a piccola scala del Tactical Greenery, con l'obiettivo comune di realizzare quelle infrastrutture verdi destinate nel futuro a permeare sempre più gli spazi di vita delle città.

New urban action, based on the development of green areas as a strategic tool for upgrading the city from an environmental, social and cultural point of view, is at its most innovative, the result of transversal initiatives at different levels by a variety of subjects. Experimentation and policies relating to the city and its neighbourhoods interact and are enriched in their relationship with local strategies and networks of punctual micro-interventions through spontaneous, bottom-up initiatives. This paper intends to highlight how today, in the varied design of the city, there is a common thread between large-scale planning experiences (municipal metropolitan plans), those on a neighbourhood scale of the Superillas, the Ville du Quart d'Heure and those on a small scale of Tactical Greenery. The common goal of creating green infrastructure for the future will be to permeate city living spaces.

### KEYWORDS

riforestazione urbana, urbanature, urbanistica tattica, agricoltura urbana, infrastrutture verdi

urban reforestation, urbanature, tactical urbanism, urban farming, green infrastructure

**Emanuela Coppola** is a Researcher in Urban Planning at the Department of Architecture (DIARC) of the 'Federico II' University of Naples (Italy). She carries out research on environmental planning, ecological transformation of cities, green infrastructure, climate adaptation and healthy cities, local development policies and urban communities. Mob. +39 338/42.73.261 | E-mail: ecoppola@unina.it

**Leonardo Zaffi**, Architect and PhD, is an Associate Professor in Architectural Technology at the Department of Architecture of the University of Florence (Italy). He is the Scientific Director of the Architecture and Self Build Laboratory at DIDA and carries out research on building and urban regeneration, public space design, temporary systems and self-building practices. Mob. +39 335/54.23.942 | E-mail: leonardo.zaffi@unifi.it

**Michele D'Ostuni**, Architect and PhD, is a Senior Researcher at the Department of Agricultural and Food Sciences, University of Bologna (Italy) and a Member of the Scientific Committee of the UrbanFarm Challenge organized by the Alma Mater University of Bologna. He is an expert in urban farming projects and soilless cultivation systems. Mob. +39 338/70.38.265 | E-mail: michele.dostuni@unibo.it

Patrik Geddes (1970) è stato il primo a legare natura e città attraverso la sua concezione di 'ecologia umana' e ad assimilare il ruolo di un parco in città a quello di una cattedrale per il valore pedagogico che riveste; è stato, inoltre, il primo a definirsi 'architetto di paesaggio' e a evidenziare la necessità di curare il verde urbano, con l'alternare orti e giardini intorno alle città influenzando, con i suoi insegnamenti, la nascita del contemporaneo movimento per la Garden City, portato alle estreme conseguenze dal Movimento Moderno (Gaeta, Janin-Rivolin and Mazza, 2018). Per quasi un secolo i sistemi naturali sono stati isolati ed esclusi dallo spazio pubblico: la presenza della natura urbana è stata sacrificata e ridotta a dotazione funzionale a causa della perdita di una visione culturale capace di conciliare la crescita economica con la salute dell'uomo e la qualità degli ecosistemi (Cortesi, 2020). Solo negli ultimi vent'anni, in Europa, il verde è tornato a essere un elemento essenziale della pianificazione, sia a scala metropolitana che comunale: dall'ormai noto Piano delle Infrastrutture Verdi di Londra (Coppola, 2016) al più recente Pla Director di Barcellona del 2019 (Área Metropolitana de Barcelona, 2020), ai piani di adattamento, queste iniziative si stanno moltiplicando in Europa ma anche in Italia.

Il recente periodo di pandemia da Covid-19 ha sollecitato una riflessione più serrata sul concetto di Health-city dove l'idea di città sana ci restituisce la centralità che devono assumere i sistemi naturali nei nostri contesti insediativi per un benessere mentale e fisico (Angrilli and Coppola, 2021) che la stessa Carta di Ottawa (WHO, 1986) sollecita dal 1986, anno della prima Conferenza Internazionale per la Promozione della Salute (WHO, 2009). Acquistano finalmente nuova forza l'Urban Health e l'Healthy Urban Planning, discipline che correlano lo studio della salute delle popolazioni agli ambienti urbani in cui vivono (Moscato and Poscia, 2015) dove il tema del verde urbano diventa centrale. In tale ambito si inquadrano anche i manifesti della Ville du Quart d'Heure di Carlos Moreno (2020) e quello per una pianificazione ecosistemica di città e metropoli di Salvador Rueda (Rueda-Palenzuela, 2019), alla base delle affascinanti sperimentazioni di urbanature rispettivamente di Parigi e Barcellona. Ma se a Parigi questa articolata riforestazione urbana intende creare cinque grandi foreste urbane e quattro nuovi grandi parchi, oltre a un imprecisato numero di spazi verdi, a Barcellona l'intervento delle Superillas è realizzato in stretta relazione con il Piano del Verde per progettare una grande infrastruttura 'green' in tutta la città metropolitana.

Il contributo vuole offrire un'esemplificazione della sfida ecologica che la quarta generazione dei Piani dell'urbanistica italiana (Moccia, 2010) e una rigenerazione urbana orientata agli aspetti dell'ambiente e del benessere possono cogliere guardando alle sperimentazioni più innovative dalla piccola fino alla grande scala. In tal senso il contributo è strutturato in un primo paragrafo che analizza casi di pianificazione di area vasta che hanno l'obiettivo di ricostruire un'infrastruttura verde in ambito urbano, un secondo paragrafo analizza casi di ricerca di città sana a scala di quartiere fino alla piccola scala e alle azioni di Tactical Greenery di matrice più

spontanea ma identificative di azioni anche simboliche dei movimenti urbani.

**Sperimentazione europea d'area vasta** | La strategia per l'infrastruttura verde e gli spazi aperti dell'area metropolitana di Londra del 2012, denominata ALGG – All London Green Grid (Greater London Authority, 2012) può considerarsi la prima sperimentazione europea d'area vasta, estensione di un precedente progetto pilota del 2003 relativo esclusivamente all'area orientale di Londra, la ELGG – East London Green Grid (Acierno, 2012). La ALGG aspira a costruire una diffusa griglia verde metropolitana e recepisce il concetto di 'green grid' quale rete integrata di spazi verdi e aperti insieme con la rete blu costituita da fiumi e canali al fine di dotare il territorio di una vasta infrastruttura urbana sostenibile, descrivendo e sostenendo un approccio alla progettazione e gestione di spazi aperti (non solo verdi), i cui benefici vanno dalla gestione delle inondazioni al condurre una vita sana in un ambiente sano fino al miglioramento economico e sociale (Coppola, 2016). La struttura dell'ALGG è stata costruita attorno a quattro elementi chiave: i fiumi esistenti, tra cui il Tamigi; gli spazi aperti e le aree idonee alla creazione di nuovi parchi; le connessioni verdi esistenti o proposte come corridoi, come la proposta di London Riverside Link; i paesaggi protetti che sono generalmente situati al confine di Londra.

Un recente Piano di grande interesse per la centralità che assume il tema del verde urbano è il Piano Direttore Urbanistico Metropolitan (PDU) di Barcellona che si pone l'obiettivo della rinaturalizzazione dello spazio urbano nel rispetto dei valori dell'ambiente geografico in cui è collocato e assume in tal senso anche la valenza di Piano di adattamento, per giungere alla creazione di una città 'più vivibile e sana e in rapporto armonioso con il suo ambiente'. In particolare, il collegamento dei grandi parchi periferici con le aree centrali viene attuato attraverso un sistema di strade filtranti (vie verdi), scelte in base a un attento studio che prende in considerazione sia l'ampiezza delle strade stesse che la morfologia del territorio per poi ridisegnarle secondo specifiche linee guida (filari di alberi, pista ciclabile e strutture filtranti laterali).

Centrale è il ruolo di infrastruttura verde attribuita alle arterie viarie di collegamento con i parchi del retroterra. Il Piano, dunque, distingue le arterie metropolitane in tre tipologie (Fig. 1): i viali metropolitani, principali assi del trasporto pubblico metropolitano; i connettori metropolitani, percorsi colleganti i centri urbani separati da spazi aperti; i percorsi metropolitani, che mettono in relazione i tessuti urbani all'ambiente circostante e favoriscono l'accesso alle aree verdi e agroforestali. Inoltre, l'esistenza di un sistema idrografico in buona salute, o da ripristinare attraverso stombamenti, consente di avere connessioni primarie forti e aggiunge un tassello essenziale a una strategia di rigenerazione con spazi pubblici e parchi. Su questo sistema arterioso principale, infatti, collegato ai polmoni verdi a scala metropolitana, si innesta un sistema a rete di aree verdi grandi-medie-piccole-minute, ricavate anche attraverso azioni di de-sealing, e aventi sia funzioni prevalentemente ricreative (pocket-park, aree attrezzate, ecc.) sia ecologiche (orti

urbani e comunitari, boschi, aree di forestazione, ecc.), connesse tra loro dal sistema della mobilità pedonale o ciclopedonale.

Approcci ecologici che si fondano sul concetto di bioregione geddessiana, che passa dal concetto di 'campagna urbana' quale nuova proposta di paesaggio della città (Donadieu, 1998) fino al recente concetto magnaghiano di 'principio territoriale' (Magnaghi, 2020) quale rotta di una futura civilizzazione eco-territorialista. In Italia, invece, il Piano Strategico dell'Infrastruttura Verde (PSIV) della Città di Torino del 2018 rappresenta la pianificazione più innovativa sul tema che va oltre la semplicistica nozione di dotare un territorio comunale di un Piano del Verde (Coppola, 2021): tale elaborazione si fonda sul centrale coinvolgimento dei cittadini (Fig. 2), si basa su analisi rigorose dello stato attuale del sistema e si rapporta strettamente ad altri nuovi strumenti pianificatori, quali il Piano di Resilienza Climatica (Città di Torino, 2020), il Piano Forestale Aziendale per la Gestione dei Boschi Collinari<sup>1</sup> e il Piano di Protezione Civile recentemente aggiornato (Mangili, 2021). Nel PSIV è inoltre interessante il ruolo delle forme di partenariato pubblico/privato per la realizzazione e gestione del verde pubblico come la sperimentazione dei patti di collaborazione per i beni comuni ma anche dei percorsi di progettazione partecipata che diventano occasioni per verificare le esigenze delle comunità locali e dunque dei futuri fruitori. Centrale è anche la sensibilizzazione sul ruolo che l'infrastruttura verde può avere nel contrastare le prossime sfide climatiche in connessione con i principi della Soil Sealing Guide della European Commission (2012).

### Sperimentazioni in chiave urbana tra Urbanismo Ecologico e città a misura d'uomo

Anche se l'Icomos China (Wei, 2020) ha pubblicato il 18 marzo 2020 il documento dal titolo Urban Function-Spatial Response Strategy for the Epidemic, che riporta alcune misure di adattamento urbano all'emergenza Covid-19, molti sono i modelli che già prima della pandemia proponevano di avere una città più sana e a misura d'uomo. Prima tra tutti, l'idea di 'una città dei 15 minuti', lanciata dal direttore scientifico della Sorbona di Parigi Carlos Moreno (2020) che si fonda su un'idea di base molto semplice: una città in cui tutti i servizi siano a disposizione dei cittadini a una distanza massima di 15 minuti in bicicletta o a piedi<sup>2</sup>. Secondo il docente franco-colombiano, serve rielaborare il concetto di prossimità, articolandolo sulle sei funzioni che dovrebbe garantire ciascun quartiere: vivere, lavorare, fornire, prendersi cura, apprendere e divertirsi. L'idea di fondo è un ritorno all'orizzontalità delle relazioni, in contrapposizione alla verticalità dell'abitare dove le strade spogliate delle auto non fungerebbero più da percorsi di passaggio ma liberebbero spazio per nuove aree pubbliche – come parchi, fontane, alberi e orti urbani – che andrebbero anche a mitigare l'effetto 'isola di calore', rendendo il quartiere un luogo più piacevole da vivere e in cui soffermarsi (Fig. 3).

La proposta, accompagnata da accattivanti disegni che prefigurano scenari di 'felicità urbana', ha avuto anche il merito di aver inviato un messaggio di speranza in un periodo dominato dall'incertezza portato avanti dalla sindaca di Pa-





Fig. 1 | Street flows: metropolitan avenues; metropolitan connectors; metropolitan routes (source: Àrea Metropolitana de Barcelona, 2020).

rigi, Anne Hidalgo. Azione immediata di questo tipo di approccio è avere piazze aperte in ogni quartiere sviluppando su ampia scala i progetti di urbanistica tattica a favore delle pedonalizzazioni, in particolare in prossimità di scuole e servizi e nei quartieri con minor offerta di verde, per agevolare l'attività fisica e il gioco dei bambini.

Oltre questa teoria che ha avuto il merito di riportare al centro delle politiche urbane l'uomo e il concetto di città di prossimità ma anche di città a misura d'uomo, la Città di Parigi sta promuovendo azioni di urban-nature intese come azioni di riforestazione urbana e de-paving con pedonalizzazione e inverdimento in uno dei luoghi simbolo della capitale, gli Champs-Élysées, che costituisce un caso emblematico. Queste dirompenti azioni di rigenerazione urbana si inquadrano nell'Urbanismo Ecologico basato sul concetto di metabolismo urbano, un nuovo approccio alla città che affronta le sfide dell'Antropocene invocando un ritorno al 'futuredesign' (Carta, 2019).

Il progetto di inverdimento degli Champs-Élysées<sup>3</sup>, a firma dell'Architetto Philippe Chambaretta del PCA-Stream, mira a trasformare la celebre passeggiata tra l'obelisco di Luxor e l'Arco di Trionfo. Già dal 1994, la Città di Parigi ha cercato di ridare all'avenue una parte della bellezza di un tempo, limitando il traffico automobilistico alla sola zona centrale, allargando l'area pedonale, rifacendo l'arredo urbano e costringendo negozi e locali al rispetto di criteri estetici che dessero alla strada una certa unità stilistica; questa trasformazione ecologica tende a dare una visione completamente nuova di questa identitaria strada (Fig. 4).

Anche Barcellona, fin dal suo penultimo Piano della Mobilità Urbana del 2013-18 (Ajuntament de Barcelona, 2014; Fig. 5), ha sposato un concetto simile alla Ville du Quart d'Heure, teorizzata da Moreno, progettando le cosiddette Superillas o Supermanzanas, ovvero dei Super-

blocks intesi come isolati prevalentemente pedonali ai cui interno possono accedere solamente pochi veicoli autorizzati. Esse rappresentano piccole Comunità nella città e sono unite e interconnesse agli altri blocchi urbani da vie di collegamento esterne: questa sperimentazione è stata elaborata dall'ecologo Salvador Rueda, autore del El Urbanismo Ecosistémico (Rueda-Palenzuela, 2019) e del Manifesto per una Pianificazione Ecosistemica di Città e Metropoli (Decamaster, 2019), che ha fondato e dirige l'Agencia di Ecologia Urbana di Barcellona e da quarant'anni è coinvolto nella pianificazione urbanistica della città dove ha elaborato un Piano rivoluzionario per cambiare la città e il modo in cui è vissuta dalle persone.

Il progetto cardine è scaturito dal Piano della Mobilità del 2013-18 ed è costituito dalla fusione funzionale di 9 blocchi di tessuto urbano, in cui il perimetro diventa il sistema per il trasporto veloce e le reti pubbliche, mentre all'interno del superblocco le auto circolano a 10 km all'ora su un'unica corsia, con l'obiettivo di ridurre al minimo i passaggi. Vengono eliminati i parcheggi negli incroci e così si liberano circa 2.000 mq che restano a uso praticamente esclusivo dei pedoni. La prima Superilla è stata inaugurata nel quartiere Poblenou, per un totale di 9 isolati coinvolti che si ritrovano a poter giovare di 4 nuove piazze non accessibili ai veicoli. L'intervento ha incrementato del 91% le aree verdi, abbattendo al contempo l'inquinamento atmosferico; ha reso il terreno permeabile, in grado di assorbire e riutilizzare l'acqua piovana, ed è riuscito a dimezzare il numero di auto nella zona, arricchendola di oltre 1.000 mq di piste ciclabili, piste da corsa, aree sport e di ricarica per veicoli elettrici, nonché di installazioni artistiche (Fig. 6).

È proprio la connessione che il nuovo Pla Director sta cercando di dare al sistema di verde naturale con le nuove aree verdi in ambito urbano che offre una sperimentazione innovativa del

concetto di green-grey continuum (Davies et alii, 2006), posto alla base della costruzione delle infrastrutture verdi in ambito urbano.

Anche la pedonalizzazione delle maggiori piazze di Valencia è partita dalla sperimentazione dei principi dell'urbanistica tattica per restituire questi luoghi alle persone; la pedonalizzazione della Piazza dell'Ayuntamiento, la maggiore piazza di Valencia, ha avuto una forte eco internazionale anche grazie al quotidiano 'le Monde': l'intervento ha restituito un'area pedonale di 12.000 mq nel cuore della città, che è il centro nevralgico dell'Urbe valenciana dove prima ogni giorno transitavano 10.000 veicoli e undici linee di autobus (Bruno, 2022). D'altra parte, un forte attivismo ecologico ha da sempre interessato la Città di Valencia fin dagli anni Settanta del secolo scorso quando un gruppo di azione civica (el llit del Túria és nostre i el volem verd – il letto del Turia è nostro e lo vogliamo verde) bloccò il progetto del dittatore spagnolo Francisco Franco che prevedeva di utilizzare lo spazio vuoto lasciato dallo spostamento del fiume Turia per la realizzazione di un'autostrada a quattro corsie da connettere al porto di Valencia.

Nel 1979 un nuovo governo cittadino ecologista promosse quel progetto di riforma verde che nel 1986 portò all'inaugurazione di quello che oggi è il più grande parco urbano di Spagna, i Giardini del Turia (Bruno and Coppola, 2022). Nella costruzione della Valencia moderna determinante è stato il ruolo che hanno avuto i movimenti cittadini di matrice ecologista (Dolç, 2021): dal 2015 sono stati recuperati circa 150.000 metri quadrati di strade pedonali ed è stata realizzata una rete di 150 km di piste ciclabili mentre con il recente Programma 'Valencia, Città delle piazze' si è avviato l'inverdimento dei tracciati dei binari ferroviari che non sono più utilizzati.

**Dal quartiere al luogo** | Nella prima parte del nuovo millennio si iniziano a mettere in discus-

sione le teorie sul progetto urbano, ritenendo inadeguati gli strumenti di pianificazione tradizionali rispetto alle sfide sulla rigenerazione e la qualità ambientale delle città contemporanee, ci si rivolge quindi allo studio di nuovi paradigmi operativi. È nella costruzione di una massa critica di iniziative dei cittadini per i cittadini che si individuano l'alternativa e il giusto contrappeso all'azione dall'alto delle Amministrazioni, accusate di trovare troppo spesso interesse solo nei grandi progetti generatori di forti ricadute politiche, mediatiche ed economiche. Si promuovono così una moltitudine di esperienze dal basso riconducibili a un sentimento più generale che alcuni autori identificano come il prodotto culturale degli anni della recessione e della crisi dell'economia globale (Zeiger, 2011).

Avviate spesso in modo spontaneo e non istituzionale, queste iniziative hanno varie declinazioni (pop up cafes, open streets, parklets, temporary markets, chair bombing, ecc.) ma con aspetti comuni quali la stretta correlazione alle realtà locali, la compatibilità tra obiettivi da conseguire e impegno profuso, lo studio di azioni a basso livello di 'rischio' e massimo beneficio e la valorizzazione della componente sociale. Questo nuovo pensiero sul progetto urbano inverte il paradigma di scala, si affida alla piccola dimensione e si manifesta con una natura incrementale e sperimentale (Zaffi, 2017a). Ogni azione si fonda sulla convinzione che, partendo da un singolo intervento realizzato in tempi brevi e con un impegno contenuto anche in termini economici (Lighter, Quicker and Cheaper), si possa nel tempo conseguire un risultato di maggior portata e su scala più vasta.

Questo nuovo, multiforme universo di esperienze urbane 'fai da te' troverà nel 2012 una sua cornice più unitaria grazie alla pubblicazione Tactical Urbanism – Short-term action Long-term Change di un gruppo di giovani urbanisti newyorchesi (Lydon et alii 2012; Pfeifer, 2013) anche se una prima evidenza in termini di 'massa critica' dei movimenti, che in vario modo condividevano e praticavano i principi dell'urbanistica Do It Yourself (Zeiger, 2011), è fatta risalire già al 2008, anno della mostra-evento Actions – What We Can Do with the City al Canadian Centre for Architecture di Montreal, dove erano presentati lavori da tutto il mondo organizzati in una serie di strumenti per il rinnovamento urbano (Borasi and Zardini, 2008). All'inizio degli anni 2000, Jaime Lerner, celebre sindaco di Curitiba in Brasile aveva tuttavia già definito questo tipo di azioni con il termine di Agopuntura Urbana Lerner (2003), ovvero come una somma di tanti piccoli interventi capaci di sollecitare i punti sensibili delle comunità e della vita in città e produrre benefici sistemici e di lungo termine su tutto l'organismo urbano.

In queste nuove visioni, il motore dell'azione rigenerativa prescinde dalla scala urbana e del quartiere per concentrare l'azione sui luoghi e sulle persone. Attraverso attività di 'placemaking' gli interventi sono puntuali e diretti alle criticità e alle realtà meno attrattive: spazi impersonali, marginali o degradati, brandelli dimenticati di città in attesa di nuove identità: è dunque nelle pieghe del tessuto dei quartieri che si ricercano le preziose opportunità per dare vita a dimensioni alternative del quotidiano e reinventare l'uso dello spazio urbano.

**Tactical greenery: nuove strategie vegetali di azione urbana** | Nella 'palette' degli strumenti impiegati per le azioni 'tattiche' di rinnovamento urbano l'elemento vegetale ha avuto sin dagli inizi una posizione privilegiata. Il 'guerrilla gardening' era già presente nelle esperienze descritte dal gruppo di Lydon (Lydon et alii, 2012) e nei 'tools for action' del Centro di Montreal (CCA, 2008) dove numerosi sono i progetti che usano la piantumazione e la coltivazione come strumenti di denuncia delle criticità della città contemporanea; il degrado delle aiuole spartitraffico era combattuto con l'inserimento di piante di pomodoro (Island of LA e Fallen Fruit a Los Angeles, 2008), la monotonia degli uffici terziari attutita da un rivestimento di edera (Helen Nodding e Space Hijackers a Londra, 2007) la freddezza delle corti commerciali invasa da piante da frutta in contenitori mobili (What If nel South bank di Londra, 2013).

Quello che emerge è che il verde nella città non è solo un fine universalmente condiviso frutto di nuove consapevolezze ambientali, ma anche uno strumento attuativo duttile, versatile, e di forte impatto per porre l'accento sui modelli sociali, produttivi, alimentari. In questa logica si moltiplicano gli interventi e le azioni che, echeggiando talvolta il legame con le prime esperienze dei Guerrilla Green di New York degli anni Settanta, ne estendono portata e finalità attraverso un approccio meno ideologico e più pragmatico per attivare relazioni di vicinato e partecipazione, incrementare la coltivazione sostenibile, coinvolgere l'arte e la cultura, educare. Siamo in presenza oggi, di una massa critica d'interventi che mantiene molte delle connotazioni tipiche delle azioni tattiche ma che supera l'idea di temporaneità per promuovere l'azione 'green' come strumento permanente di riqualificazione. Questa nuova dimensione di Tactical Greenery è un universo multiforme di azioni che partono dai temi ambientali e della natura e, attraverso lo strumento vegetale, interagiscono con le persone e i grandi temi della società e della città sollecitando una diversa visione urbana e innescando circuiti virtuosi di più ampia scala (Zaffi, 2017a).

A Saragozza la realizzazione di giardini/orti urbani caratterizza gli interventi Saint Blas 94 e Armas 92 (Fig. 7) di Gravalos-Di Monte come parte del più ampio programma di riqualificazione di spazi residuali 'Esto no es un Solar' (2010), mentre i francesi di Collectif Etc con il giardino pedagogico (2015/16) de La Halle Puget (Fig. 8) a Marsiglia e di La Plaine DIX70 a Bruxelles (2012) integrano i temi del verde produttivo con l'architettura, il design, l'autocostruzione. Esperienze come quella dello Skip Garden (2009-19) nell'area Londinese di King'Cross e dello Story Garden (2019) alla British Library a Somers Town promossi da Global Generation portano invece l'attenzione sugli aspetti educativi e il coinvolgimento di giovani e studenti in un progetto collaborativo. L'arte è spesso parte di queste iniziative con installazioni vegetali che propongono una nuova dimensione per spazi altrimenti vissuti distrattamente: ne è esempio l'opera di Spencer Finch dal titolo Lost Man Creek a Brooklyn (2018) dove una foresta di sequoie in scala 1:100 manifesta il potere evocativo della natura nel contesto urbano.

Compreso il potenziale di azioni diffuse sullo

spazio urbano che nascono 'dal basso', sono sempre più le Amministrazioni e le Istituzioni che sostengono e promuovono questo tipo di iniziative sia a livello di associazioni sia a livello del singolo cittadino. È noto il caso della Municipalità di Parigi che ha introdotto nel 2015 Le Permis de Végétaliser (Ville de Paris, 2021), strumento che incoraggia i cittadini nella realizzazione di interventi 'green' in città adottando parti pubbliche e comuni. Per realizzare un Jardin Partagé basta un semplice modulo online per avviare i singoli interventi ricevendo un toolkit iniziale. Precise regole devono essere seguite per garantire la biodiversità e un coerente miglioramento di tipo funzionale ed estetico. Un fine simile è perseguito da The Greening of Detroit, associazione di volontari nata a fine anni '80 sulla scia di una lunga crisi economica che, dal 1950, ha portato la popolazione cittadina da 2.000.000 a poco più di 700.000 abitanti con un incremento esponenziale di aree urbane abbandonate; la riconversione di queste aree in spazi verdi è considerata dall'associazione come un'opportunità per elevare la qualità urbana.

**Urban Farming experience: interventi di rigenerazione fra agricoltura urbana, arte e cultura** | Fra le molteplici esperienze condotte nell'ambito della 'green action', stanno quindi acquisendo sempre maggior peso i temi dell'Urban Farming, dell'autoproduzione alimentare, della biodiversità, della coltivazione a km 0. Emergono anche all'interno delle città europee, pratiche di azione verde che per tutta la seconda metà del secolo scorso sembravano essere state dimenticate (Orsini et alii, 2020). Si tratta di iniziative di Agricoltura Urbana, condotte da singoli individui o piccole comunità con l'obiettivo di riutilizzare

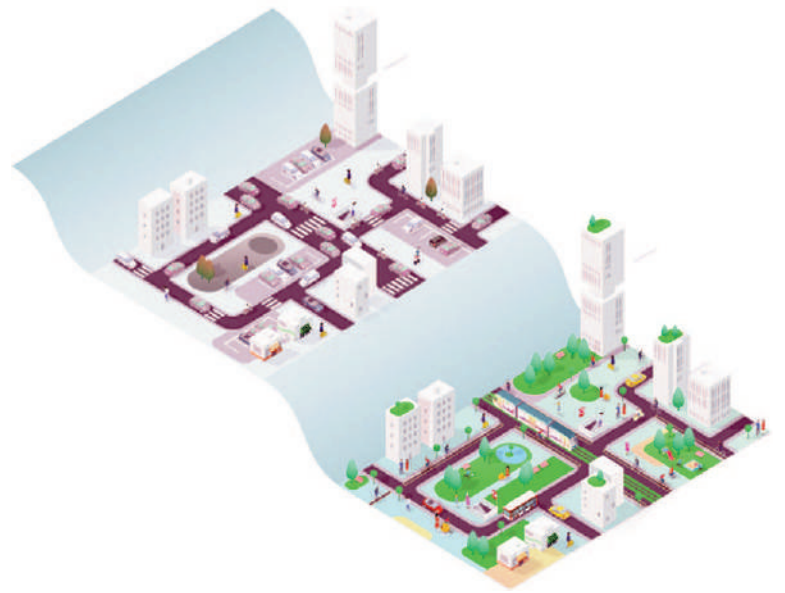


La rue de demain



Fig. 2 | Community participation in designing and implementing green infrastructure: urban participatory forestation campaigns within the project Trees for the future (credit: City of Turin).

Fig. 3 | Le Ville du Quart d'Heure by Carlos Moreno (source: moreno-web.net/).



**Fig. 4** | The proposal to re-invigorate and beautify the Champs-Élysées by 2030, designed by Philippe Chiambretta Architect (source: pca-stream.com, 2020).

**Fig. 5** | 'La città dei tuoi sogni in sette passi' by Pla de Mobilitat Urbana de Barcelona 2013-2018 (source: Ajuntament de Barcelona, 2014).

aree dimenticate o poco qualificate della città, convertendole in spazi destinati alla coltivazione e all'auto-produzione alimentare. In Italia già oggi la superficie di proprietà dei Comuni adibita a orti per uso domestico è stimata in oltre due milioni di metri quadrati (Istat, 2021). Queste iniziative sono spesso strettamente collegate a processi d'integrazione e promozione sociale: non è raro, infatti, trovare cooperative o associazioni no-profit che coinvolgono le frange più marginalizzate dalla società (come ex-prigionieri, anziani, tossicodipendenti o persone con malattie degenerative) nel processo di co-creazione di orti comunitari (Orsini et alii, 2020).

L'azione di Community Gardening ha dunque iniziato a crescere in popolarità, ponendosi come alternativa sociale e reazione ai processi di crescita e cementificazione delle grandi realtà urbane. In particolare, proprio durante la recente crisi pandemica si sono moltiplicati i sostenitori delle attività di Agricoltura Urbana, vista come strumento per far fronte a possibili fattori di crisi nella catena alimentare (D'Ostuni and Zaffi, 2021) e per rivendicare un nuovo rapporto con la natura ormai fortemente compromesso nelle metropoli moderne.

Del resto, già durante la Prima e Seconda Guerra Mondiale, gli Orti di Guerra, detti anche Victory Gardens, erano promossi dai governi locali come azioni patriottiche poiché contribuivano in maniera sostanziale alla sicurezza alimentare dei

cittadini e dell'esercito. La recente crisi pandemica ha ulteriormente spostato l'attenzione sul dualismo fra tessuto costruito e spazi verdi all'interno dei grandi centri urbani: governi nazionali e regionali, pianificatori e studiosi hanno iniziato a considerare con crescente interesse le implicazioni del rapporto uomo-natura sulla salute delle persone (Comino, Molinari and Dominici, 2021); in questo senso, attività legate alla coltivazione alimentare, sono sempre più spesso associate a benefici legati alla salute fisica e mentale dei cittadini (Camps-Calvet et alii, 2015).

Esperienze di orticoltura terapeutica si stanno sviluppando in Europa e in Italia, e le attività legate al giardinaggio possono essere prescritte da medici e incoraggiate dal sistema sanitario per migliorare, per esempio, l'efficacia di alcune terapie su pazienti che necessitano di riabilitazione neuro-psichiatrica (Meneghello et alii, 2014). Se il verde produttivo è oggi parte di una nuova dimensione strategica nella realizzazione delle infrastrutture verdi urbane, questo non si connette tanto alle opportunità di avviare processi intensivi di produzione urbana di cibo – come le esperienze di Vertical Farming o l'integrazione di sistemi idroponici (Zaffi and D'Ostuni, 2020) – quanto piuttosto alla possibilità di rigenerare zone meno qualificate della città, riconvertendole in spazi dedicati alla coltivazione. Coltivare cibo nell'ambiente urbano non solo innesca meccanismi virtuosi dal punto di vista ambientale, ma

stimola anche la creazione di nuove comunità culturali, dove arte, educazione e produzione locale si intersecano per aggregare nuovi processi di Tactical Greenery dal basso.

Uno dei primi esempi in tal senso in Europa è l'Allmende Kontor a Berlino: localizzato nella parte est della città, questo orto comunitario nasce nel 2010 dall'idea di 13 volontari come azione di riappropriazione di un enorme spazio urbano, inaccessibile ai cittadini, e che fino a pochi anni prima era occupato dall'aeroporto Berlin-Tempelhof. Oggi l'Allmende Kontor vede la partecipazione di più di 900 agricoltori urbani volontari e la coltivazione di ortaggi su un terreno di 5.000 mq; qui, volontari ed esperti coltivatori si incontrano per scambiare le loro conoscenze e partecipare a eventi comunitari e culturali o performance artistiche (Wunder, 2013).

Esperienze simili sono sorte negli ultimi anni anche in Italia, come il Parco Agricolo Sud di Milano, le Fattorie Cooperative a Roma (Cavallo, Di Donato and Marino, 2016) e gli Orti Dipinti a Firenze. Quest'ultimo è un esempio riuscito di giardino educativo sorto nella centrale Borgo Pinti su iniziativa dell'architetto, artista, designer ed ex guerrilla gardener Giacomo Salizzoni (Fig. 9). Qui, nel 2013, ottenendo in comodato gratuito l'area abbandonata di una degradata pista di atletica, sono nati, attraverso il coinvolgimento del Comune, di associazioni e sponsor privati, nuovi orti urbani didattici e sociali, eco di quelli

conventuali che in epoca antica popolavano la zona (Zaffi, 2017b).

Fra le città più attive nel proporre piccoli interventi di Agricoltura Urbana in Italia c'è sicuramente Bologna; uno studio del 2014 del Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroalimentari dell'Uni-Bo (DISTAL), nato dalla realizzazione di un orto comunitario sul tetto di uno degli edifici popolari di Via Gandusio, ha dimostrato come l'implementazione di sistemi di coltivazione scoperta sui tetti piani bolognesi avrebbe potuto rendere autosufficiente la città per almeno il 77% del suo fabbisogno di frutta e verdura (Orsini et alii, 2014; Fig. 10). Proprio a Bologna nel 2015 appena fuori Porta Santo Stefano, all'interno di un vecchio vivaio comunale abbandonato è nato il progetto Serre dei Giardini Margherita a seguito della partecipazione a un bando pubblico da parte di associazioni e cooperative del territorio. La proposta di rigenerazione urbana punta a riqualificare le serre abbandonate per creare nuovi spazi comunitari come un ristorante, un coworking, spazi studio all'aperto, aule e uffici (Fig. 11).

Nel 2018 si unisce nella gestione delle Serre anche l'Srl Aquaponic Design che inizia a integrare agli orti urbani già presenti, sistemi di coltivazione acquaponica per la produzione vegetale. L'obiettivo del sistema produttivo delle Serre dei Giardini Margherita, oltre a rifornire il ristorante con prodotti freschi provenienti dall'orto urbano, è di diffondere la cultura e la conoscenza delle tecniche di Agricoltura Urbana. La comunicazione avviene attraverso un design integrato di componenti di arredo con sistemi di acquaponica, (Fig. 12) laboratori gratuiti per le scuole, workshop, eventi e manifestazioni artistiche. Non sono pochi infatti gli artisti che gravitano intorno al nuovo contesto delle Serre, creando opere d'arte temporanee con l'intento di dare forma e immagine al rapporto fra uomo e natura (Fig. 13). Nasce in questo contesto il Resilienze Festival che esplora i legami fra ambiente, società, economia e cultura: un esempio in tal senso è la scultura sonora Moss, realizzata da Marco Barrotti, una parete di muschio che modula suoni cinetici a seconda del livello di inquinamento presente nell'area (Fig. 14). L'arte diventa dunque, all'interno del novo contesto delle Serre dei Giardini Margherita, elemento chiave della comunicazione e della rivendicazione verde della città, capace di sorprendere e di centrare con semplicità visiva la questione ambientale del rapporto uomo-natura.

**Conclusioni** | Quello che emerge dalle esperienze più innovative fra quelle presentate, è la forte complementarità fra le azioni di pianificazione più generali, promosse dalle Amministrazioni e condotte in genere a scala urbana o di quartiere, e quelle proposte da gruppi spontanei, associazioni, attori locali o anche privati cittadini sui singoli luoghi o piccoli spazi della città. Le sfide contemporanee poste dalla rigenerazione in senso ambientale ed ecologico della città vedono modelli operativi diversi, nati talvolta come alternativi, convergere verso l'obiettivo comune di nuove infrastrutture verdi capaci di rendere la città più sana e vivibile.

Queste iniziative offrono anche una diversa visione del concetto di verde urbano. Oltre la semplice connotazione decorativa, e in aggiunta a

quella ambientale, esse sono oggi il terreno dove – grazie a una sensibilità collettiva, rivendicazioni sociali, espressione artistica, nuovi modelli educativi, design e agricoltura urbana – si attivano processi di riappropriazione verde della città e per la costruzione di una nuova quotidianità. Si tratta di un indirizzo complesso e transcolare caratterizzato dalla molteplicità, ma che sembra segnare una via per innescare quei processi virtuosi in cui le visioni dell'urbanismo ecologico si fondono con le azioni puntuali di Tactical Greenery per rigenerare la città e realizzare una nuova dimensione di spazio urbano.

Patrik Geddes (1970) was the first to link nature and the city through his concept of 'human ecology', he considered a park in the city to be like a cathedral for its pedagogical value; he was also the first to define himself as a 'landscape architect' and to emphasise the need to care for city greenery by making gardens and kitchen gardens alternate around cities, impacting, through his teachings, on the emergence of the contemporary Garden City movement, taken to its extreme consequences by the Modern Movement (Gaeta, Janin-Rivolin and Mazza, 2018). Natural systems were also excluded from public space for almost a century: the presence of urban nature was sacrificed and reduced to a functional endowment due to the loss of a cultural vision capable of reconciling economic growth with human health and the quality of ecosystems (Cortesi, 2020). Only in the last twenty years in Europe have green spaces returned as an essential aspect of planning, both on a metropolitan and municipal scale: from the well-known Green Infrastructure Plan of London (Coppola, 2016) to the more recent Pla Director of Barcelona in 2019 (Àrea Metropolitana de Barcelona, 2020), to adaptation Plans, such initiatives are growing in Europe, but also in Italy.

The recent period of the Covid-19 pandemic

has prompted closer reflection on the concept of the Health-city, where the idea of the healthy city restores the centrality that natural systems must assume in our settlement contexts for mental and physical well-being (Angrilli and Coppola, 2021). The Ottawa Charter has been urging since 1986, the year of the First International Conference on Health Promotion (WHO, 1986, 2009). Urban Health and Healthy Urban Planning are disciplines that correlate the study of the health of populations with the urban environments in which they live (Moscato and Poscia, 2015), where the theme of urban greenery becomes central, finally gaining new light. The Ville du Quart d'Heure manifestos by Carlos Moreno (2020) and the Salvador Rueda manifesto for ecosystem-based planning of cities and metropolises, which underpin the fascinating experiments in urbanism in Paris and Barcelona simultaneously, also come under this heading (Rueda-Palenzuela, 2019). While in Paris, this complex urban reforestation aims to create five vast urban forests and four new large parks, plus an unspecified number of green zones. In Barcelona, on the other hand, the Superillas project is closely linked to the Green Plan to design a massive 'green' infrastructure throughout the metropolitan city.

The contribution aims to offer an example of the ecological challenge that the fourth generation of Italian urban planning (Moccia, 2010) and an urban regeneration oriented to the aspects of the environment and well-being can take up by looking at the most innovative experiments from the small to the large scale. In this sense, the paper consists of a first paragraph that examines planning cases of large areas to reconstruct a green infrastructure in an urban context. A second paragraph analyses examples of studies on healthy cities in a neighbourhood and small scale and strategic green actions of a more voluntary matrix but identifies symbolic actions of urban movements.

Large-scale European experimentations | The

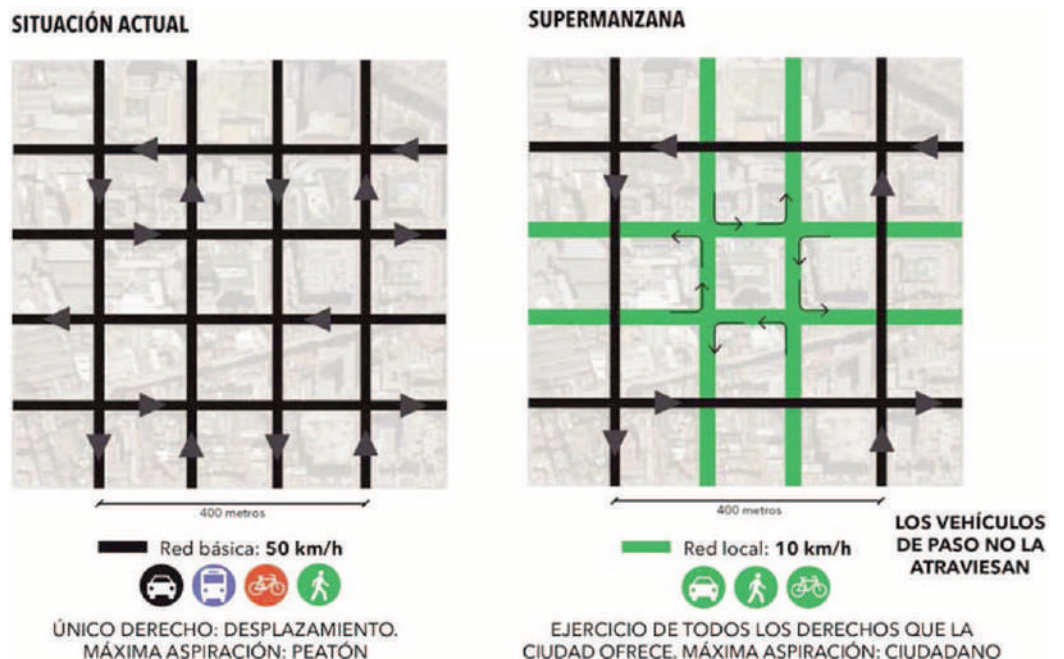


Fig. 6 | Superillas, an experiment in ecological urbanism by Salvador Rueda (source: Rueda-Palenzuela, 2019).

London Metropolitan Area Green Infrastructure and Open Spaces Strategy of 2012, ALGG – All London Green Grid (Greater London Authority, 2012) is the first European large area experiment, an extension of an earlier 2003 pilot project focusing exclusively on East London, the ELGG – East London Green Grid (Acierno, 2012). The ALGG aims to build a widespread green metropolitan grid and embraces the 'green grid' concept as an integrated network of green and open spaces with a blue network of rivers and canals to give the territory an extensive sustainable urban infrastructure. By describing and supporting an approach to the design and management of open (not just green) spaces, whose benefits range from flood management to healthy living in a healthy environment to economic and social improvement (Coppola, 2016). The structure of the ALGG relies on four key elements: existing rivers, including the Thames; open spaces and areas suitable for the creation of new parks; existing or proposed green connections as corridors, such as the proposed London Riverside Link; and protected landscapes usually located on the fringes of London.

The Metropolitan Urban Master Plan (PDU) of Barcelona is one of the most recent Plans of great interest due to the centrality of the theme of urban greenery. It sets the objective of naturalising urban space while respecting the values of the geographical environment in which it stands and, in this sense, it also takes on the role of an adaptation Plan to achieve the creation of a 'more liveable and healthy city in a harmonious relationship with its environment'. Specifically, the connection of the large peripheral parks with the central areas takes the form of a system of filtering roads (greenways), chosen on the basis of a careful study that takes into account both the width of the routes themselves and the morphology of the territory and then redesigns them according to specific guidelines (rows of trees, cycle paths and lateral filtering structures).

Central is the role of green infrastructure attributed to arterial roads linking with hinterland parks. Our urban Plan identifies three types of metropolitan arterial roads (Fig. 1): metropolitan avenues, main metropolitan public transport axes; metropolitan connectors, interconnecting urban centres split by open spaces; metropolitan routes, linking urban fabric to the surrounding environment and providing access to green and agroforestry areas. In addition, a healthy water system, or one that is due for restoration by bringing watercourses to light, provides strong primary connections and adds an essential piece to a regeneration strategy with public spaces and parks. This principle arterial system, which links up with the green lungs on a metropolitan scale, is part of a network of large-medium-small-sized green areas, created through de-sealing actions, with both mainly recreational (pocket-parks, equipped areas, etc.) and ecological functions (urban and community gardens, woods, forestation areas, etc.), connected by the pedestrian or cycle-pedestrian mobility system.

Ecological approaches rely on the Geddesian concept of the bioregion, from the 'urban-rural' concept as the new cityscape proposal (Donadieu, 1998) to the recent Magnaghi concept of the 'territorial principle' (Magnaghi, 2020)

as the route to a future eco-territorialist society. In Italy, on the other hand, the Strategic Green Infrastructure Plan (PSIV) of the City of Turin in 2018 represents the most innovative planning on the subject, which goes beyond the simplistic notion of providing a municipal territory with a Green Plan (Coppola, 2021). This elaboration is based on the central involvement of citizens (Fig. 2), is based on rigorous analyses of the current state of the system and is closely related to other new planning tools, such as the Climate Resilience Planning (Città di Torino, 2020), the Corporate Forestry Management Plan of Hillside Woods<sup>1</sup> and the recently updated Civil Protection Plan (Mangili, 2021). The role of public-private partnerships in public green creation and management is also of interest in the PSIV, such as the experimentation of cooperation agreements for public goods, which also includes shared design paths that become opportunities to verify the needs of local communities and consequently of future users. Raising awareness of the role green infrastructure can play in addressing upcoming climate challenges is crucial to the Soil Sealing Guide principles of the European Commission (2012).

#### Urban experiments involving Ecological Urbanism and cities on a human scale

Although Icomos China (Wei, 2020) on 18 March 2020 published the document entitled Urban Function-Spatial Response Strategy for the Epidemic, which sets out some measures for urban adaptation to the Covid-19 emergency, several models were already proposing a healthier and more human-friendly city before the pandemic. First of all, the idea of 'a 15-minute city', as put forward by the scientific director of the Sorbonne in Paris, Carlos Moreno (2020), relies on a simple basic idea: a city in which all services are available to citizens at a maximum distance of 15 minutes by bike or on foot<sup>2</sup>. The professor believes that the concept of proximity needs revision, focusing on the six functions that each district should guarantee: living, working, providing, caring, learning and entertainment. The basic idea is to bring back horizontal relations instead of living in verticality, where streets stripped of cars would no longer serve as transit routes. Freeing up space for new public areas – such as parks, fountains, trees and urban gardens – would also mitigate the 'heat island' effect, making the neighbourhood a more pleasant place to live and linger (Fig. 3).

The proposal, along with eye-catching sketches prefiguring scenarios of 'urban happiness', also deserves merit for sending a hopeful message in a period of uncertainty led by the mayor of Paris, Anne Hidalgo. Immediate action is to have open squares in every neighbourhood by developing large-scale tactical urban planning projects to promote pedestrians, especially around schools and services and in districts with fewer green spaces, to facilitate physical activity and play for children.

Beyond this theory, which brought back to the centre of urban policies the human being and the concept of a city of proximity and a city on a human scale, the City of Paris is carrying out urban-nature actions in the form of urban reforestation and de-paving, where pedestrians and greening of the Champs-Élysées, one of the sym-

bolic places of the capital, is an emblematic case. These striking urban regeneration actions are part of Ecological Urbanism which focuses on urban metabolism, an innovative approach to the city that faces the challenges of the Anthropocene by calling for a return to 'future design' (Carta, 2019).

The greening of the Champs-Élysées<sup>3</sup>, by architect Philippe Chiambaretta of PCA-Stream, aims to transform the famous promenade between the obelisk of Luxor and the Arc de Triomphe. Since 1994, the City of Paris has been trying to give the avenue back some of its former beauty by limiting car traffic to the central area, enlarging the pedestrian area, redesigning the urban design and forcing shops and restaurants to respect aesthetic criteria giving the road a sense of stylistic unity. This ecological transformation provides a new view of this identifiable road (Fig. 4).

After its penultimate Urban Mobility Plan of 2013-18 (Ajuntament de Barcelona, 2014; Fig. 5), Barcelona likewise endorsed a concept similar to the Ville du Quart d'Heure, by Moreno. It designs so-called Superillas, or Supermanzanas, i.e. Superblocks understood as predominantly pedestrian blocks (inside which only a few allowed vehicles can access) that represent small communities in the city and are united and interconnected to other urban blocks through external connecting streets. Ecologist Salvador Rueda, author of *El Urbanismo Ecosistémico* (Rueda-Palenzuela, 2019) and *Manifiesto for Ecosystemic Planning of Cities and Metropolises* (Decamaster, 2019), develops this research. Founder and director of the Barcelona Urban Ecology Agency, he has been involved in urban planning for forty years, developing a revolutionary Plan to change the city and the way people live in it.

The pivotal project stems from the 2013-18 Mobility Plan, consisting of a functional fusion of 9 blocks of the urban fabric, with the perimeter becoming the high-speed transport system and network, and cars travelling at 10 km per hour in a single lane within the superblock, to reduce passages to a minimum. Parking spaces at intersections are no longer available, which frees up around 2,000 square metres of space for almost exclusive use by pedestrians. The first Superilla opens in the Poblenou district, with a total of 9 blocks benefiting from 4 new car-free squares. The project increases green areas by 91%, reducing air pollution. It makes it permeable land and capable of absorbing and reusing rainwater; it halves the number of cars in the area and adds more than 1,000 square metres of cycle paths, running tracks, sports and charging zones for electric vehicles and art installations (Fig. 6).

The new Pla Director is trying to connect the natural green system with the green areas in urban environments offering a new trial of the green-grey continuum concept (Davies et alii, 2006), which is the basis for building green infrastructure in urban environments.

Even the pedestrians of the main squares in Valencia start with the experimentation with tactical urban planning principles to give these places back to the people. Turning the Plaza del Ayuntamiento, the main square in Valencia, into a pedestrian zone got an international echo, even



**Fig. 7** | Esto no es un solar: the gardens of Armas 92 in Zaragoza (credit: Gravalos + Di Monte, 2010).

**Fig. 8** | L'épopée Puget: acte 1, Marseille (credit: Collectif Etc).

from the newspaper 'le Monde'. The project rehabilitates a 12,000 square metre pedestrian zone in the heart of the city centre, the focal point of Valencia where 10,000 vehicles and eleven bus lines pass every day (Bruno, 2022). On the other hand, a very marked ecological activism has always interested the City of Valencia since the 1970s when a civic action group (el lilit del Túria és nostre i el volem verd – the bed of the Turia is ours and we want it green) blocked the project of the Spanish dictator Francisco Franco to use the space left by the displacement of the Turia river to build a four-lane motorway to connect to the port of Valencia.

In 1979, a new ecologist city government promoted the green reform project that in 1986 led to the inauguration of what is now the largest urban park in Spain, the Turia Gardens (Bruno and Coppola, 2022). In the construction of modern Valencia, the role played by ecological citizen movements has been decisive (Dolç, 2021): as of 2015, some 150,000 square metres of pedestrian streets came back into use and the creation of a network of 150 km of cycle paths, while the recent 'Valencia, city of squares' programme is starting to green up railway tracks that are no longer in use.

**From neighbourhood to place** | When, in the first part of the new millennium, theories on urban design began to be questioned, considering traditional planning tools inadequate to meet the challenges of regeneration and environmental quality in contemporary cities, the focus turned to the study of new operational paradigms. The construction of a critical mass of initiatives carried out by citizens working for citizens that the alternative and the right counterbalance to the top-down action of the Administrations are identified, accused of too often finding interest only in large projects generating powerful political,

media and economic effects. In this way, a host of bottom-up experiences are promoted as part of a more general sentiment that some authors identify as the cultural product of the years of recession and global economic crisis (Zeiger, 2011).

These initiatives, often launched in a spontaneous and non-institutional way, take various forms (pop up cafes, open streets, parklets, temporary markets, chair bombing, etc.) however, they have common aspects such as close correlation to local realities, compatibility among the objectives to be achieved and the profuse commitment, the study of actions with a low level of 'risk' and maximum benefit, the enhancement of the social component. This new thinking on urban design inverts the paradigm of scale, relies on a small scale and manifests itself with an incremental and experimental nature (Zaffi, 2017a). Each action is based on the conviction that starting from a single intervention, carried out in a short time and with a limited commitment, including in economic terms (Lighter, Quicker and Cheaper), it is possible to achieve a broader result over time and on a larger scale.

This new and multifaceted universe of 'do-it-yourself' urban experiences will find a more unified framework in 2012 thanks to the publication *Tactical Urbanism – Short-term action Long-term Change* by a group of young New York urbanists (Lydon et alii 2012; Pfeifer, 2013) Although the first evidence in terms of a 'critical mass' of movements that in various ways share and practice the principles of Do It Yourself urbanism (Zeiger, 2011), dates back to 2008, the year of the exhibition-event *Actions – What We Can Do with the City* at the Canadian Centre for Architecture in Montreal. Works from all over the world and a series of tools for urban renewal are on display (Borasi and Zardini, 2008). At the beginning of the 2000s, Jaime Lerner, famous mayor of the city of Curitiba in Brazil had already defined this

type of action with the term *Urban Acupuncture* Lerner (2003), i.e. as a sum of many small interventions capable of stimulating the sensitive points of communities and city life and producing systemic and long-term benefits for the entire urban organism.

In these new visions, the engine of regenerative action disregards the urban and neighbourhood scale to focus on places and people. Through 'placemaking' activities, interventions target critical and less attractive areas: impersonal, marginal or degraded spaces, forgotten city fragments waiting for a new identity. They look for valuable opportunities to create alternative dimensions of daily life and reinvent the use of an urban area in the folds of the fabric of districts.

**Tactical greenery: new vegetal strategies for urban action** | In the 'palette' of tools used for 'tactical' urban renewal actions, the plant element got a privileged position from the beginning. 'Guerrilla gardening' is one of the Lydon's experiments (Lydon et alii, 2012) and in the 'tools for action' of the Montreal Centre (CCA, 2008) where many projects use planting and cultivation as tools to denounce critical issues in contemporary cities; Tomato plants contrast with the degradation of traffic islands (Island of LA and Fallen Fruit in Los Angeles, 2008), ivy covers reduce the monotony of tertiary offices (Helen Nodding and Space Hijackers in London, 2007), and fruit plants in mobile containers reduce the coldness of commercial courtyards (What If in the South bank of London, 2013).

What emerges is that greenery in the city is not only a universally shared goal resulting from new environmental awareness but also a flexible, versatile and high-impact implementation tool for social emphasis, production and food models. In this logic, there is a proliferation of interventions and actions, sometimes echoing the link with the



**Fig. 9** | Community Garden 'Orti Dipinti' in Florence (credit: L. Zaffi and M. D'Ostuni, 2018).

**Fig. 10** | Community garden in Via Gandusio, Bologna (credit: G. Bazzocchi, 2013).

**Fig. 11** | Outdoor Study Spaces at the Greenhouses of Giardini Margherita in Bologna (credit: L. Zaffi and M. D'Ostuni, 2021).

*Next page*

**Fig. 12** | Aquaponic table, a project by Aquaponic Design (credit: M. Caprilli, 2021).

**Fig. 13** | Bio-lake in the Serra Madre (credit: Resilienze Festival, 2021).

**Fig. 14** | Moss sound sculpture by Marco Barotti (credit: Resilienze Festival, 2021).



early experiences of Guerrilla Green in New York in the 1970s. By extending their scope and objectives by using less ideological and more pragmatic approaches to create neighbourhood relations and participation, increase sustainable cultivation, involve art and culture, and educate. There is now a critical mass of interventions that take up many of the connotations of tactical actions but go beyond the idea of temporariness to promote 'green' action as a permanent tool for regeneration. The new Tactical Greenery dimension is a multiform universe of actions starting from environmental and nature issues, using plant tools, interacting with people and the main themes of

society and the city, soliciting a different urban vision and triggering virtuous circuits larger scale (Zaffi, 2017a).

In Zaragoza, kitchen gardens/urban areas typify Saint Blas 94 and Armas 92 (Fig. 7) projects by Gravalos-Di Monte as part of a broader programme to redevelop residual spaces 'Esto no es un Solar' (2010). In France, Collectif Etc with the pedagogical garden (2015/16) of La Halle Puget (Fig. 8) in Marseille and La Plaine DIX70 in Brussels (2012) integrate productive green themes with architecture, design and self-building. Examples such as the Skip Garden (2009-19) in the King's Cross area of London and the Story Gar-

den (2019) at the British Library in Somers Town, promoted by Global Generation, focus instead on educational aspects and the involvement of young people and students in a collaborative project. Art is often present in these projects through vegetal installations, giving new resonance to spaces otherwise experienced carelessly. The work by Spencer Finch entitled Lost Man Creek in Brooklyn (2018) is an example where a 1:100 scale redwood forest manifests the evocative power of nature in the urban context.

Having understood the potential of diffuse actions on urban space that arise 'from below', more and more administrations and institutions

are supporting and promoting this type of initiative both at the level of associations and at the association and individual citizen level. A well-known case is that of the City of Paris, which in 2015 introduced *Le Permis de Végétaliser* (Ville de Paris, 2021), which encourages citizens to carry out 'green' interventions in the city using public and collective parts. To create a *Jardin Partagé*, a simple online form is all that is needed to start individual interventions by receiving an initial toolkit. You need to follow precise rules to ensure biodiversity and consistent functional and aesthetic improvement. A similar aim exists with *The Greening of Detroit*, an association of volunteers set up in the late 1980s in the wake of a long-term economic crisis that, since 1950, has reduced the city population from 2,000,000 to just over 700,000, with an exponential increase in abandoned urban areas. Converting these areas into green spaces is an opportunity to improve urban quality.

**Urban Farming experience: urban agriculture, art and culture regeneration projects** | Among the numerous experiments in 'green action', the themes of Urban Farming, self-production of food, biodiversity and zero-km cultivation are gaining importance. Green action practices that seemed to have disappeared during the second half of the last century are also emerging in the European cities (Orsini et alii, 2020). Urban farming is a project carried out by individuals or small communities to reuse forgotten or unqualified areas of the city, converting them into spaces for cultivation and self-production of food. Municipalities already own over two million square metres of land in Italy as home gardens (Istat, 2021). Such initiatives are often closely linked to social integration and promotion processes: it is often the case that cooperatives or non-profit associations involve the most marginalised fringes of society (such as ex-prisoners, the elderly, drug addicts or people with degenerative diseases) in the process of co-creating community gardens (Orsini et alii, 2020).

Community gardening efforts began to gain popularity as a social alternative and a reaction to urban sprawl and overbuilding. Particularly during the recent pandemic crisis, supporters of Urban Agriculture activities multiplied, seen as a way of tackling possible crisis factors in the food chain (D'Ostuni and Zaffi, 2021) and claiming a new relationship with nature, strongly compromised in modern metropolises.

Moreover, during the First and Second World Wars, the War Gardens, also known as Victory Gardens, were promoted by local governments as patriotic actions since they contributed substantially to the food security of citizens and the army. In the recent pandemic crisis, attention has further shifted to the dualism between built fabric and green spaces within large urban centres: national and regional governments, planners and scholars are becoming increasingly interested in the health implications of the human-nature relationship (Comino, Molinari and Dominici, 2021). Accordingly, activities related to food cultivation are increasingly associated with benefits concerning the physical and mental health of citizens (Camps-Calvet et alii, 2015).

Experiences of therapeutic horticulture are





developing in Europe and Italy, and activities related to gardening can be prescribed by doctors and encouraged by the health system to improve, for example, the effectiveness of some therapies on patients in need of neuro-psychiatric rehabilitation (Meneghello et alii, 2014). While productive green is nowadays part of a new and more strategic dimension of the development of urban green infrastructures, this is related to the potential for intensive urban food production processes and not to the possibility of re-generating unqualified areas of the city, re-converting them into spaces dedicated to cultivation – such as Vertical Farming experiences or the integration of hydroponic systems (Zaffi and D'Ostuni, 2020). Food growing in the urban environment triggers virtuous environmental mechanisms, encouraging the creation of new cultural communities, where art, education and local production intersect to aggregate new processes from below Tactical Greenery.

One of the first examples in Europe is the Allmende Kontor in Berlin. The community garden located in the eastern part of the city, with the idea of 13 volunteers in 2010 to re-appropriate a vast urban area inaccessible to citizens, was occupied until a few years before by Berlin-Tempelhof airport. Allmende Kontor now involves more than 900 volunteer urban farmers and the cultivation of vegetables on a 5,000 sqm plot of land. Volunteers and experienced farmers meet here to exchange knowledge and participate in community and cultural events or artistic performances (Wunder, 2013).

Similar experiences arose during the last few years in Italy, such as the Parco Agricolo Sud in Milan, the Fattorie Cooperative in Rome (Cavallo, Di Donato and Marino, 2016) and the Orti Dipinti in Florence. The latter is a successful example of an educational garden built in the central Borgo Pinti by architect, artist, designer and former guerrilla gardener Giacomo Salizzoni (Fig. 9). In 2013, by getting a free loan of the abandoned area of a degraded athletics track, new urban educational and social gardens were born, involving the municipality, associations and private sponsors, echoing the convent gardens that populated the area in ancient times (Zaffi, 2017b).

## Acknowledgements

The contribution is the result of a shared reflection of the authors. The introductory paragraphs with the titles 'From cities to macro-neighbourhoods', 'Large-scale European trials' and 'Urban experiments involving Ecological Urbanism and cities on a human scale' are by E. Coppola. The paragraphs 'From neighbourhood to place', 'Tactical greenery: new vegetal strategies for urban action', 'Urban Farming experience: urban agriculture, art and culture regeneration projects' and 'Conclusions' are by L. Zaffi and M. D'Ostuni.

## Notes

1) For further information, visit the website: [torinovivibile.it/aree-tematiche/piano-forestale-aziendale-2020/](http://torinovivibile.it/aree-tematiche/piano-forestale-aziendale-2020/) [Accessed 20 April 2022].

One of the most proactive cities proposing small-scale urban agriculture projects in Italy is Bologna. A 2014 study by The Department of Agri-Food Science and Technology of UniBo (DISTAL), born out of a community garden on the roof of one of the council buildings in Via Gandusio, showed how the implementation of open cultivation systems on flat rooftops in Bologna could have made the city self-sufficient for at least 77% of its fruit and vegetable needs (Orsini et alii, 2014; Fig. 10). In Bologna in 2015, outside Porta Santo Stefano, in an old abandoned municipal nursery, the Giardini Margherita Greenhouses project was born after local associations and cooperatives took part in a public tender. The urban regeneration proposal aims to redevelop abandoned greenhouses to create new community spaces such as restaurants, coworking, outdoor study spaces, classrooms and offices (Fig. 11).

In 2018, Aquaponic Design Srl joined the management of the greenhouses and began to integrate aquaponics cultivation systems for vegetable production into the existing urban gardens. In addition to supplying the restaurant with fresh produce from the kitchen garden, the production system of the Giardini Margherita greenhouses aims to spread the culture and knowledge of Urban Agriculture techniques. Communication takes place through an integrated design of furniture components with aquaponic systems (Fig. 12) and zero-cost laboratories for schools, workshops, events and art shows. Many artists gravitate around the new context of the Greenhouses, creating temporary works of art to give form and image to the relationship between man and nature (Fig. 13). The Resilienze Festival was born in this context, exploring the links between environment, society, economy and culture. An example of this is the sound sculpture Moss, created by Marco Barotti, a wall of moss that modulates kinetic sounds according to the pollution level in the area (Fig. 14). Within the new context of the Margherita Garden Greenhouses, art thus becomes a fundamental element of communication and the green claim of the city, capable of surprising and focusing on the environmental issue of the relationship between man and nature with visual simplicity.

2) Such experiments are already underway in the United States and Australia in the cities of Portland and Melbourne under the slogan 'the city in 20 minutes', which are primarily pedestrian-friendly.

3) For further information, visit the website: [pca-stream.com/en/projects/champs-elysees-study-48](http://pca-stream.com/en/projects/champs-elysees-study-48) [Accessed 20 April 2022].

## References

- Acierno, A. (2012), "Il Piano per l'Infrastruttura Verde di Londra e la gestione della Olympic Park Legacy", in *TRIA | Rivista Internazionale di Cultura Urbanistica*, vol. 5, n. 9, pp. 155-166. [Online] Available at: [doi.org/10.6092/2281-4574/1342](https://doi.org/10.6092/2281-4574/1342) [Accessed 20 March 2022].
- Ajuntament de Barcelona (2014), *Pla de Mobilitat Urbana de Barcelona – PMU 2013-2018*. [Online] Available at: [barcelona.cat/mobilitat/es/quienes-somos/plan-de-](http://barcelona.cat/mobilitat/es/quienes-somos/plan-de-mobilitat-urbana)

**Conclusions** | The most innovative of the experiences presented here is the complementarity between the more general planning actions promoted by administrations and carried out on an urban or district scale and those proposed by voluntary groups, associations, local players or even private citizens on individual places or small spaces in the city. The contemporary challenges posed by the environmental and ecological regeneration of the city see different operational models, sometimes born as alternatives, converging towards the common objective of new green infrastructures capable of making the city healthier and more liveable.

These initiatives also offer a different vision of the concept of urban green. Beyond purely decorative and environmental connotations, they now represent the place where – through collective sensitivity, social demands, artistic expression, new educational models, design and urban agriculture – a process of re-appropriation of city greenery and construction of a new everyday life starts. We are dealing with a complex and transcalar direction featuring diversity, which seems to mark a way to trigger those virtuous processes in which the visions of ecological urbanism merge with the punctual actions of Tactical Greenery for the regeneration of the city and create a new dimension of urban space.

movilidad-urbana [Accessed 20 April 2022].

Angrilli, M. and Coppola, E. (2021), "Verso la transizione ecologica – Raccomandazioni e criticità per la pianificazione e la progettazione di infrastrutture verdi per la salute della città", in Moccia, F. D. and Sepe, M. (eds), *Benessere e salute delle città contemporanee*, INU Edizioni, Roma, pp. 168-183.

Àrea Metropolitana de Barcelona (2020), *Avanç – Pla Director Urbanistic Metropolità*. [Online] Available at: [urbanisme.amb.cat/ca/divulgacio/publicacions](http://urbanisme.amb.cat/ca/divulgacio/publicacions) [Accessed 20 April 2022].

Borasi, G. and Zardini, M. (2008), *Actions – What You Can Do With the City?*, SUN and CCA, Montreal.

Bruno, G. (2022), "Dall'urbanistica tattica alla città a misura d'uomo – Intervista a Giuseppe Grezzi, l'assessore di origine italiana che sta trasformando la città di Valencia", in *Urbanistica Informazioni*, vol. 301, pp. 85-87.

Bruno, G. and Coppola, E. (2022), "Valencia, la città

mediterranea che fa parlare di sé per l'elevata qualità della vita", in *Urbanistica Informazioni*, vol. 301, pp. 83-85.

Camps-Calvet, M., Langemeyer, J., Calvet-Mir, L., Gómez-Baggethun, E. and March, H. (2015), "Sowing resilience and contestation in times of crises – The case of urban gardening movements in Barcelona", in *Partecipazione e Conflitto | The Open Journal of Sociopolitical Studies*, vol. 8, n. 2, pp. 417-442. [Online] Available at: doi.org/10.1285/i20356609v8i2p417 [Accessed 15 March 2022].

Carta, M. (2019), *Futuro – Politiche per un diverso presente*, Rubbettino Editore, Soveria Mannelli (CZ).

Cavallo, A., Di Donato, B. and Marino, D. (2016), "Mapping and assessing urban agriculture in Rome", in *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, vol. 8, pp. 774-783. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.066 [Accessed 15 March 2022].

CCA (2008), *Tools for Actions – Show us what you can do with the city*. [Online] Available at: cca.qc.ca/actions/ [Accessed 19 March 2022].

Città di Torino (2020), *Piano di resilienza climatica*. [Online] Available at: comune.torino.it/torinosostenibile/documenti/200727\_Piano\_Resilienza\_Climatica\_allegati.pdf [Accessed 20 April 2022].

Comino, E., Molari, M. and Dominici, L. (2021), "La città che invita la natura – Progettare in collaborazione con il verde verticale | City that embraces nature – Designing with vertical greenery", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 9, pp. 112-123. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/9112021 [Accessed 15 March 2022].

Coppola, E. (2021), "E se il Piano del Verde divenisse parte integrante del Piano Urbanistico Comunale? | If the Urban Green Plan became an integral part of the Municipal Urban Plan?", in *BDC | Bollettino del Centro Calza Bini*, vol. 21, issue 1, pp. 141-160. [Online] Available at: doi.org/10.6092/2284-4732/7993 [Accessed 20 March 2022].

Coppola, E. (2016), *Infrastrutture sostenibili urbane*, INU Edizioni, Roma.

Cortesi, I. (2020), "La cura dei luoghi tra città e natura – Il progetto di paesaggio per la salute e il benessere degli ecosistemi e degli abitanti", in Maiano, P. (ed.), *Healthscape – Nodi di salubrità, attrattori urbani, architetture per la cura*, Quodlibet, Macerata, pp. 97-109. [Online] Available at: digital.casalini.it/10.1400/279932 [Accessed 20 March 2022].

D'Ostuni, M. and Zaffi, L. (2021), "Nurturing cities – Pathways towards a circular urban agriculture", in Gambardella, C. (ed.), *World Heritage and Design for Health – Proceedings of the XIX International Forum Le Vie dei Mercanti, Napoli-Capri, July 2021*, Gangemi editore, Roma, pp. 726-735. [Online] Available at: flore.unifi.it/retrieve/handle/2158/1242082/608631/NURTURING%20CITIES%20MD-LZ.pdf [Accessed 20 March 2022].

Davies, C., MacFarlane, R., McGloin, C. and Roe, M. (2006), *Green Infrastructure Planning Guide*. [Online] Available at: greeninfrastructurenw.co.uk/resources/North\_East\_Green\_Infrastructure\_Planning\_Guide.pdf [Accessed 20 March 2022].

Decamaster (2019), "La città come ecosistema – Manifesto per una pianificazione ecosistemica di città e metropoli di Salvador Rueda – Principi guida per i processi di rigenerazione urbana e per il Piano/Progetto di nuovi insediamenti", in *Decamaster.it*, 05/12/2019. [Online] Available at: decamaster.it/la-città-come-ecosistema-manifesto-per-una-pianificazione-ecosistemica-di-città-e-metropoli-di-salvador-rueda-principi-guida-per-i-processi-di-rigenerazione-urbana-e-per-il-piano-progetto-di-nuovi-i/ [Accessed 19 March 2022].

Dolç, C. (2021), *Del Saler al Túria – Els primers moviments ciutadans que van dissenyar València*, Pruna Llibres, Valencia.

Donadieu, P. (1998), *Campagne urbaine – Una nuova proposta di paesaggio della città*, Donzelli Editore, Roma.

European Commission (2012), *Guidelines on best practice to limit, mitigate or compensate soil sealing*. [Online]

Available at: ec.europa.eu/environment/soil/pdf/guidelines/pub/soil\_en.pdf [Accessed 20 March 2022].

Gaeta, L., Janin-Rivolin, U. and Mazza, L. (2018), *Governo del territorio e pianificazione spaziale*, Città Studi edizioni, Torino.

Geddes, P. (1970), *Città in evoluzione*, Il Saggiatore, Milano.

Greater London Authority (2012), *Green infrastructure and open environments – The All London Green Grid – Supplementary Planning Guidance*. [Online] Available at: london.gov.uk/sites/default/files/algg\_spg\_mar2012.pdf [Accessed 20 April 2022].

Istat (2021), *Tavole di dati – Ambiente urbano*. [Online] Available at: istat.it/it/archivio/254037 [Accessed 20 April 2022].

Lerner, J. (2003), *Acupuntura Urbana*, Editora Record, Rio de Janeiro. [Online] Available at: academia.edu/8091180/Acupuntura\_Urbana\_Jaime\_Lerner [Accessed 20 March 2022].

Lydon, M., Bartman, D., Woudstra, R. and Khawarзад, A. (2012), *Tactical Urbanism – Short-term action Long-term change, vol. 1*, The Street Plans Collaborative, New York. [Online] Available at: issuu.com/streetplanscollaborative/docs/tactical\_urbanism\_vol.1 [Accessed 20 March 2022].

Magnaghi, A. (2020), *Il principio territoriale*, Bollati Boringhieri, Torino.

Mangili, S. (2021), "Il Piano del verde una Torino vivibile e resiliente", in *Urbanistica Informazioni*, vol. 298-299, pp. 14-18.

Meneghello, F., Marcassa, G., Koch, I., Sgaravatti, P., Piccolomini, B., Righetto, C., Prosdocimi Gianquinto, G. and Orsini, F. (2014), "Garden therapy in neurorehabilitation – Well-being and skills improvement", in *XXIX International Horticultural Congress on Horticulture – Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes (IHC2014)*, pp. 13-18. [Online] Available at: doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1121.3 [Accessed 15 March 2022].

Moccia, F. D. (2010), "Città e cambiamento climatico", in *Urbanistica Informazioni*, a. XXXVIII, n. 230, p. 38. [Online] Available at: urbanisticainformazioni.it/-230.html [Accessed 20 March 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 20 April 2022].

Moscatò, U. and Poscia, A. (2015), "Urban Public Health", in Boccia, S., Villari, P. and Ricciardi, W. (eds), *A Systematic Review of Key Issues in Public Health*, Springer, Cham, pp. 223-247. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-13620-2\_13 [Accessed 20 March 2022].

Orsini, F., Gasperi, D., Marchetti, L., Piovone, C., Draghetti, S., Ramazzotti, S., Bazzocchi, G. and Gianquinto, G. (2014), "Exploring the production capacity of rooftop gardens (RTGs) in urban agriculture – The potential impact on food and nutrition security, biodiversity and other ecosystem services in the city of Bologna", in *Food Security*, vol. 6, pp. 781-792. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s12571-014-0389-6 [Accessed 15 March 2022].

Orsini, F., Pennisi, G., Michelon, N., Minelli, A., Bazzocchi, G., Sanyé-Mengual, E. and Gianquinto, G. (2020), "Features and functions of multifunctional urban agriculture in the global north – A review", in *Frontiers in Sustainable Food Systems*, vol. 4, article 562513, pp. 1-27. [Online] Available at: doi.org/10.3389/fsufs.2020.562513 [Accessed 15 March 2022].

Pfeifer, L. (2013), *The Planner's Guide to Tactical Urbanism*. [Online] Available at: reginaurbanecology.files.wordpress.com/2013/10/tuguide1.pdf [Accessed 19 March 2022].

Rueda-Palenzuela, S. (2019), "El Urbanismo ecosistémico", in *Ciudad y Territorio*, vol. 51, n. 202, pp. 723-752. [Online] Available at: recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/view/77733/48005 [Accessed 19 March 2022].

Ville de Paris (2021), "Le permis de végétaliser", in

*paris.fr*, 25/01/21. [Online] Available at: paris.fr/pages/unpermis-pour-vegetaliser-paris-2689 [Accessed 19 March 2022].

Wei, D. (2020), *Urban Function-Spatial Response Strategy for the Epidemic – A Concise Manual on Urban Emergency Management*. [Online] Available at: ovpm.org/wp-content/uploads/2020/03/covid-19icomos-china.pdf [Accessed 20 April 2022].

WHO – World Health Organization (2009), *Zagreb Declaration for Healthy Cities – Health and health equity in all local policies*. [Online] Available at: euro.who.int/\_data/assets/pdf\_file/0015/101076/E92343.pdf [Accessed 20 April 2022].

WHO – World Health Organization (1986), *Ottawa Charter for Health Promotion*. [Online] Available at: euro.who.int/\_data/assets/pdf\_file/0004/129532/Ottawa\_Charter.pdf [Accessed 20 April 2022].

Wunder, S. (2013), *Learning for sustainable agriculture – Urban gardening in Berlin – With particular focus on Allmende Kontor*, Solinsa. [Online] Available at: solinsa.org/fileadmin/Files/deliverables/LINSA\_Reports/Berlin\_Allmende\_Kontor\_show\_case\_report.pdf [Accessed 15 March 2022].

Zaffi, L. (2017a), "Azioni e progetti per micro interventi sullo spazio pubblico della città", in Lauria, A. (ed.), *Piccoli spazi urbani – Valorizzazione degli spazi residuali in contesti storici e qualità sociale*, Liguori, Napoli, pp. 141-177.

Zaffi, L. (2017b), "Spazio pubblico e residualità nel tessuto del centro storico di Firenze", in Lauria, A. (ed.), *Piccoli spazi urbani – Valorizzazione degli spazi residuali in contesti storici e qualità sociale*, Liguori, Napoli, pp. 205-238.

Zaffi, L. and D'Ostuni, M. (2020), "Città metaboliche che futuro – Fra Agricoltura e Architettura | Metabolic cities of the future – Between Agriculture and Architecture", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 8, pp. 82-93. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/882020 [Accessed 15 March 2022].

Zeiger, M. (2011), "The Interventionist's Toolkit – 4", in *Places Journal*, September 2011. [Online] Available at: doi.org/10.22269/110912 [Accessed 19 March 2022].

## PROGETTARE L'ADATTAMENTO

Resilienze di agricoltura urbana  
nel contesto europeo

## DESIGNING THE ADAPTATION

The resilience of urban agriculture  
in the European context

Maicol Negrello, Daniele Roccaro, Kevin Santus, Isabella Spagnolo

### ABSTRACT

I crescenti fenomeni legati al cambiamento climatico spingono le città a sviluppare piani di resilienza che possano rispondere in termini di sostenibilità ambientale, sociale ed economica. Le strategie nature-based possono rappresentare una soluzione; tra queste l'agricoltura urbana può contribuire ad aumentare la resilienza dei tessuti urbani europei. Questa attività è stata più volte oggetto di interesse in periodi di crisi come impegno comunitario dai caratteri sociali, oltre che produttivi ed educativi. Attraverso un excursus storico e una successiva analisi di casi studio contemporanei, il paper fornisce strumenti progettuali per intervenire nel costruito con strategie che spaziano dalla scala urbana a quella dell'architettura. Il saggio presenta un approccio morfo-tipologico replicabile che può essere applicato e utilizzato da progettisti e policy-makers al fine di incrementare la resilienza urbana.

The growing phenomena linked to climate change pushes cities to develop resilience plans to respond to environmental, social, and economic sustainability. Nature-based strategies can be a solution; among these, urban agriculture can increase the resilience of European urban fabrics. This activity has been the object of interest several times during crises or as a community activity with social, productive, and educational characteristics. Through a historical excursus and a subsequent analysis of contemporary case studies, the paper provides design tools for intervening in the built environment with strategies ranging from the urban to the architectural scale. The essay presents a replicable morfo-typological approach that can be applied and used by planners and policymakers to increase urban resilience.

### KEYWORDS

agricoltura urbana, soluzioni basate sulla natura, cambiamento climatico, rigenerazione urbana, agricoltura in ambiente protetto

urban agriculture, nature-based solutions, climate change, urban regeneration, agriculture in a protected environment, controlled environment agriculture

**Maicol Negrello**, Architect and PhD, is an Adjunct Lecturer at the Department of Architecture and Design (DAD) of the Politecnico di Torino (Italy). He mainly carries out research in integrating natural and built systems E-mail: maicol.negrello@polito.it

**Daniele Roccaro**, Architect and PhD Candidate at the Department of Architecture of the University of Palermo (Italy), carries out research in investigating the influences of nomadic and informal living in contemporary living. E-mail: daniele.roccaro@unipa.it

**Kevin Santus**, Architect and PhD Candidate at the Department of Architecture and Urban Studies of the Politecnico di Milano (Italy), carries out research in the context of the urban regeneration project in the face of climate change. E-mail: kevin.santus@polimi.it

**Isabella Spagnolo**, Architect and PhD Candidate at the Department of Architecture and Urban Studies of the Politecnico di Milano (Italy), carries out research related to the themes of the regeneration of fragile territories thanks to innovative agricultural production methods. E-mail: isabella.spagnolo@polimi.it

L'attuale situazione di breakdown climatico antropogenico (IPCC, 2021; Pylsy, Lylykangas and Kurnitski, 2020), unitamente al fenomeno di forte inurbamento, pone la disciplina del progetto di fronte a una necessaria riformulazione degli spazi che possano caratterizzare in modo resiliente la città. Nei contesti urbani europei eventi quali bombe d'acqua, inondazioni o isole di calore sono i principali rischi per l'ambiente costruito e per una vita sicura (Sanesi, Gallis and Kasperidus, 2011) influenzando direttamente sulla necessità di adattamento dello spazio alle nuove condizioni climatiche. In questo saggio, lo spazio pubblico della città europea viene considerato nell'ottica di una sua necessaria ridefinizione lessico-progettuale basata su strategie innovative che vedono l'interferenza tra progetto e natura (van Eekelen and Bouw, 2020). Il suolo urbano offre la possibilità di rigenerazione fisica e sociale (Santus and Scaioli, 2021; Peleman et alii, 2022), agendo sulla capacità dei sistemi urbani di essere adattivi ai fenomeni climatici, contribuendo a rigenerare lo spazio pubblico, garantendo una migliore qualità della vita (Negrello and Ingaramo, 2021) e agendo sulle disparità sociali presenti (Haase, 2017).

All'interno delle diverse potenzialità e delle differenti soluzioni nature-based (Kabisch et alii, 2017), l'agricoltura urbana può rivestire un ruolo di sintesi tra adattamento dello spazio urbano (Cabral et alii, 2017) e produzione di risorse, divenendo obiettivo strategico per la transizione ecologica. Le declinazioni dell'agricoltura urbana che concorrono al raggiungimento di questi obiettivi vedono gradi di tecnologia diversi, dalle coltivazioni tradizionali, esiti di processi storici e sociali, a quelle soil-less, le quali offrono un futuro produttivo in contesti densi, impermeabili e con condizioni climatiche complesse, divenendo così nuove chiavi interpretative che caratterizzano e influenzano il progetto urbano.

Il saggio analizza il tema dell'adattamento urbano partendo da alcune pratiche appartenenti alla cultura di progetto del moderno, in cui, già allora, ci si interrogava su delle possibili integrazioni formali e funzionali tra agricoltura urbana e costruzione dello spazio aperto, secondo le possibilità tecnologiche e le tematiche che caratterizzavano il periodo storico. Passando poi alle problematiche della nostra contemporaneità, si individua una potenziale relazione tra il New European Bauhaus e la metodologia di analisi dei casi studio: i principi che il documento individua come necessari per la progettazione sostenibile delle nostre città vengono usati per studiare la casistica selezionata, analizzando le diverse 'resilienze' che ogni progetto può costruire, secondo la seguente triade: sostenibilità formale (costruzione della forma), sociale (inclusività) ed ecologica (ambientale).

Si propone una matrice che illustra e mette in relazione i suddetti valori con le questioni morfo-tipologiche e con scale e azioni di progetto per la produzione agricola diversificata. L'intersezione di questi elementi costituisce l'elemento di originalità del contributo, il quale mette a sistema tematiche cogenti tra teoria e progetto e fornisce un punto di vista innovativo sul rapporto tra adattamento e agricoltura urbana, con il quale le azioni basate sulla natura divengono necessarie nei processi di rigenerazione e capaci

di unire sensibilità ambientale e coesione sociale.

### Una prospettiva storica: l'agricoltura urbana in Europa dalla seconda industrializzazione ad oggi

Nel 1930, nel testo polemico di Werner Hegemann dal titolo *Das Steinerne Berlin*, la città veniva definita come 'la più grande baraccopoli del mondo', abitata per la maggior parte da contadini trasferiti in città per lavorare dopo la seconda industrializzazione. La condizione di degrado urbano, che vigeva in generale nelle grandi città europee invase da baraccopoli costantemente colpite da epidemie e prive di aree verdi o ad uso esclusivo dell'élite, fu la principale spinta che diede inizio ai grandi piani urbanistici e alle politiche di social housing, ma anche agli sventramenti e alle utopie progettuali, tra cui le città giardino inglesi e le Siedlungen tedesche.

In questo contesto di fragilità diffusa nascono le prime sperimentazioni morfo-tipologiche a scala architettonica e urbana, volte all'ottimizzazione della distribuzione interna e anche alla pianificazione di ampi spazi verdi circostanti per garantire condizioni di salubrità e qualità di vita migliori. Tra queste sperimentazioni ve ne sono alcune che mediano i concetti di città e campagna, come i progetti del Parallelogramma di Owen, l'Icaria di Cabet, la città-lineare di Arturo Soria y Mata o la città-giardino di Ebenezer Howard<sup>1</sup> (Gravagnuolo, 1991): si testano quindi nuove tipologie realizzate da architetti come Bruno Taut, che modifica il layout tradizionale delle Siedlung: non più lungo il filo stradale, ma disponendole liberamente nel verde gli edifici. Questo concetto ritorna anche con Le Corbusier che nel 1930 immagina la Ville Radieuse svilupparsi secondo schemi a raggiata protesi nel territorio, generando in questo modo aree destinate alla produzione agricola.

Leberecht Migge, impegnato nella progettazione delle Grosse Siedlungen di Francoforte sul Meno e Berlino (Haney, 2010), teorizzò e realizzò insediamenti produttivi in cui abitazione e produzione alimentare erano fusi insieme per avvicinarsi a una vita più sana, naturale e autonoma. Per Migge (1999) il verde non era solo igiene o urbanistica ma anche politica: un giardino per famiglia avrebbe assicurato l'autosostentamento domestico, liberando i nuclei familiari dal modello capitalistico.

Intorno agli anni '90, nel mondo occidentale, in una condizione di benessere diffuso, l'agricoltura urbana come strumento sociale, educativo e di pianificazione della vita nelle città è diventata una vera e propria attività urbana partecipata con carattere meno temporaneo rispetto ai periodi precedenti e più strutturati. Se durante i periodi di crisi essa fu incoraggiata perché considerata un sistema produttivo di autosostentamento alimentare, oggi sono anche le caratteristiche 'non produttive' dell'agricoltura urbana a far considerare le pratiche a essa connesse esempi virtuosi dal punto di vista sociale e ambientale. Infatti, essa contribuisce all'integrazione di gruppi socialmente svantaggiati (Rubino, 2007) e al coinvolgimento sociale nello sviluppo del senso di appartenenza alla comunità (Armstrong, 2000; Holland, 2004); inoltre, da un punto di vista spaziale, gli orti comunitari occupano spazi urbani abbandonati o residui, rigenerandoli sia da un punto di vista fisico sia sociale, co-

me accade con la Battery Urban Farm a Battery Park, nel cuore di Manhattan, o sul lungolago di Vevey, in Svizzera (Negrello, 2019).

### Spazi di resilienza: un legame possibile con il New European Bauhaus

Nel Dicembre 2019, l'European Commission (2019), attraverso l'European Green Deal, propone una strategia a lungo termine per strutturare una transizione capace di affrontare le sfide legate al cambiamento climatico: viene promosso uno sviluppo sostenibile e in grado di raggiungere gli obiettivi di carbon e climate neutrality (European Commission, 2018; European Parliament and Council, 2021), incentivando una transizione circolare attenta all'implementazione e valorizzazione degli spazi verdi. In linea con questa transizione europea, nel 2020, la volontà di tramutare le strategie anche in esperienza culturale ha portato alla creazione del progetto New European Bauhaus (European Commission, 2021), al fine di sviluppare una conoscenza collettiva del progetto fondato sui valori della sostenibilità; questo concetto è tradotto in tre principi cardine: qualità estetica del progetto (forma al di là della funzionalità), inclusività (valorizzazione delle diversità, garanzia di equità e accessibilità economica), e sostenibilità tecnica (per tradurre gli obiettivi climatici in strategie circolari, prive di scarti e che accrescano la biodiversità).

Osservare il tema dell'agricoltura urbana, a partire dalle riflessioni delle prospettive europee, diviene fondamento per poter sviluppare una chiave interpretativa del progetto sostenibile; infatti, forme di agricoltura urbana possono essere considerate strumento per accrescere l'adattività dello spazio urbano e il potenziale sociale di alcune aree della città, ma anche per rigenerare suoli in stato di abbandono. Il ruolo di questa strategia nature-based pone le basi per una possibile ricaduta sistemica all'interno della costruzione dello spazio urbano, interagendo con istanze fisiche e immateriali (Artmann and Sartison, 2018). A partire da questo presupposto, è possibile sintetizzare tre possibili forme di trasformazione resiliente che l'agricoltura urbana può generare, in continuità con i tre valori cardine del New European Bauhaus.

In primo luogo, l'accrescimento della resilienza fisico-spaziale: l'incontro tra agricoltura e tessuto urbano può essere declinato con esiti formali, gradi di artificializzazione e specifiche destinazioni funzionali tra loro differenti ma tutti finalizzati a limitare il consumo di suolo, accrescendo la permeabilità del terreno urbano o implementando possibilità di addizione a tessuti costruiti preesistenti. Applicare soluzioni di agricoltura urbana permette di riflettere sulla costruzione della forma dello spazio della natura in città, restituendogli centralità.

L'agricoltura urbana è poi riconosciuta per i benefici sociali ed ecologici che incrementano anche la resilienza socioeconomica: da un lato contribuisce a garantire la disponibilità di cibo durante disastri naturali o conflitti armati (Adam-Bradford Hoekstra and van Veenhuizen, 2009), dall'altro promuove l'inclusione attraverso modalità informali di socializzazione, che generano processi democratici con nuove forme di partecipazione e responsabilità dei cittadini.

Infine uno degli elementi centrali delle solu-

zioni nature-based è l'aumento della sostenibilità ambientale degli interventi; l'agricoltura urbana può essere vissuta attraverso lo sviluppo di nuovi approcci che agiscano sui processi di utilizzo e rigenerazione, lavorando su un piano di resilienza energetico-ambientale. In quest'ottica temi di circolarità, quali il riuso e il riciclo, diventano strumenti applicabili a varie scale, in prima istanza rispetto all'approvvigionamento delle risorse, ad esempio incrementando il riutilizzo delle acque meteoriche o il riuso di rifiuti organici urbani come fertilizzanti (Ferreira et alii, 2018).

Questa possibile 'stratificazione di resilienze' individua nell'agricoltura urbana il potenziale rigenerativo per il progetto dello spazio pubblico connesso alla funzione ecologica, sociale e produttiva; grazie alla descrizione di elementi fondativi è possibile costruire una triplice chiave interpretativa del progetto, costituendo un metro di riferimento nell'osservazione delle pratiche e dei processi urbani.

### Esperienze di rigenerazione: specificazioni di progetto

Il progetto di adattamento dello spazio urbano attraverso una visione circolare e strategie basate sulla natura deve essere sviluppato in modo interscalare, tra la scala architettonica e quella urbano-territoriale. La rigenerazione della città diventa un lungo processo di modificazione dei luoghi, dove l'approccio nature-based è ascrivibile a un concetto di cura e riparazione dello spazio; azione che si fonda da un lato sull'osservazione ravvicinata degli elementi presenti in un luogo, dall'altro sulla scelta di interventi strategici (Clément, 2012). Per comprendere le ricadute progettuali dell'agricoltura urbana il saggio propone l'analisi di nove casi studio europei, recentemente realizzati, interpretati secondo la chiave di lettura esposta nel paragrafo precedente. Le diverse declinazioni di agricoltura urbana presentate sondano scale di progetto differenti, dalla scala urbana a quella architettonica, permettendo di riflettere sui diversi approcci e implicazioni morfo-tipologiche del progetto.

Il primo caso preso in considerazione si trova nella provincia agricola belga, Roeselare, conosciuta come 'l'orto d'Europa' (Fig. 1): dal 2021, sul tetto del mercato ortofrutticolo REO Veiling sorge Agrotopia, progetto concepito come luogo di ricerca applicata e di sviluppo di processi innovativi di orticoltura urbana indoor. Progettata con la supervisione della Wageningen University, Agrotopia fa parte dei progetti pilota di architettura per il paesaggio produttivo del governo fiammingo. Dall'esterno, con le sue facciate in vetro sfaccettato e la scalinata d'ingresso, essa appare come un blocco compatto che Meta Architecturbureau descrive come 'una scultura orgogliosa e trasparente di acciaio e vetro'. La struttura utilizza l'acqua piovana recuperata dai tetti, che viene immagazzinata in silos e il deflusso dell'irrigazione viene riciclato e riutilizzato, mentre il riscaldamento proviene dal calore residuo di un vicino termovalorizzatore in simbiosi circolare con la città.

A Berlino, nasce nel 2011 l'orto comunitario Allmende Kontor (Fig. 2), situato all'interno di Tempelhofer Feld, ufficialmente riconosciuto dal 2014 come il più grande parco pubblico della città. L'idea dell'orto condiviso è stata promossa dall'Associazione di soci-giardinieri 100% Tem-

pelhofer Feld, la quale ha iniziato a gestire in modo cooperativo centinaia di piccoli orti su lettiere rialzate, affinché il giardino fosse mobile. L'orto conta oggi circa 250 aiuole rialzate e più di 500 giardinieri provenienti da tutto il mondo, affermandosi come simbolo riconosciuto della partecipazione e della resistenza alla privatizzazione dello spazio pubblico nella città. L'area è un frammento di natura urbana accessibile a tutti con panche e sedute, luogo di riunione e di ritrovo dove si svolgono attività didattiche e di sensibilizzazione ambientale.

A Kreuzberg, nel 2009, l'Associazione Nomadisch Grün, ha ottenuto in affitto circa 1,5 acri di terreno incolto, per realizzarne uno spazio verde a uso della comunità, lanciando i Prinzessinnengärten, il progetto pilota di orti urbani mobili (Figg. 3, 4). L'operazione non ha stravolto lo stato di fatto, lasciando gli alberi presenti e facendo piccoli interventi di modellazione del terreno, e ha suddiviso l'area per le diverse attività: coltivazione, apicoltura, garden café e infine una struttura a telaio, la Nachbarschafts Akademie, ovvero l'Accademia del quartiere progettata da Fatkoehl Architekten. L'edificio, che ha un design modulare ed è open source, è progettato in modo tale da non togliere né luce né superficie al giardino e permettere l'implementazione di giardini sui terrazzi.

Il Parco Landschaftspark Herzberge (Fig. 5), nella zona industriale di Lichtenberg, nasce nel 2007 dal recupero di aree verdi incolte e agricole e dei giardini dell'ex manicomio municipale (1893) che sono stati protetti dalla costruzione di nuovi insediamenti. L'intervento ha messo a sistema gli spazi residui attraverso percorsi e ha creato un luogo di aggregazione e di produzione agricola. All'interno del Parco, dal 2017, la startup TopFarmers GmbH gestisce la Stadtfarm Berlin, una fattoria idroponica che riutilizza tre serre costruite negli anni '70 per produrre verdure e allevare il pesce gatto africano, utilizzando il sistema circolare chiuso di AquaTerraPonik Farming.

Un altro progetto che si inserisce in un'area abbandonata è la Ferme Abattoir all'interno dell'area dell'ex Macello di Anderlecht, a Bruxelles, area centrale della città e parte del progetto di riqualificazione disegnato dallo studio ORG per recuperare l'ex Mattatoio (Fig. 6). In questo caso, mentre lo sviluppo dell'area è stato voluto dalla città di Bruxelles, il progetto della Ferme è sviluppato dal privato BIGH. L'idea è frutto di un partenariato pubblico-privato volto a dare una nuova funzione all'area, applicando i principi della circolarità. I sistemi di crescita delle colture spaziano dalle tecnologie high-tech idroponiche site nella serra bioclimatica a soluzioni tradizionali on-soil con coltivazione stagionale sul tetto giardino, che sfruttano la superficie inutilizzata del mercato rendendola produttiva. Grazie all'approccio circolare l'energia viene recuperata dall'edificio sottostante e dai pannelli solari mentre l'acqua utilizzata per la coltivazione viene recuperata dalle piogge: le piante, coltivate nella serra e sul tetto giardino, stoccano tra le 42 e le 56 tonnellate di CO<sub>2</sub>/anno.

A Romainville, nell'area metropolitana parigina, le linee guida governative sulla riqualificazione dei quartieri di edilizia sociale si concretizzano nella Cité Maréchère (Fig. 7), che promuove azioni per la transizione ecologica. La struttu-

ra, realizzata in acciaio e cemento, è composta da due corpi di fabbrica con un cavedio centrale che permette la ventilazione naturale; concepita come un ambiente bioclimatico controllato, la nuova fabbrica combina sistemi di ventilazione naturale e involucri termici ad alte prestazioni. La crescita delle colture si sviluppa su tutti i piani dell'edificio e tutto è basato sull'idea di ecologia e di circolarità economica. Molta attenzione è riposta alla gestione delle risorse in entrata (luce, acqua, calore e scarti) e all'uso di substrati colturali ottenuti da rifiuti organici testati, sperimentando tecniche agricole fuori suolo in collaborazione con AgroTech Paris. Dal punto di vista ecologico, tecnico ed economico il progetto mette in discussione i principi della consueta gestione delle colture al coperto, combinando high-tech e low-tech.

Nel 2008, a Colombes, viene lanciato dal collettivo francese Atelier d'Architecture Autogérée, nell'ambito dell'iniziativa R-Urban, il progetto pilota di rigenerazione bottom-up Agrocité (Figg. 8, 9). Nell'aprile 2018, è stata inaugurata la seconda edizione a Gennevilliers, nella banlieue nord-occidentale di Parigi, dove ha trovato terreno fertile, a differenza del primo esperimento il quale, nonostante le numerose petizioni e proteste, è stato sradicato a forza dalle autorità locali per far posto a un parcheggio. Agrocité è strutturato con un padiglione di legno in cui sono presenti alcune aule, una caffetteria, un negozio cooperativo per il consumo responsabile, un mercato di verdure, una serra e una fattoria con alveari per l'apicoltura. L'unità è composta da tre aree: un'area per le attività legate alla natura e all'agricoltura, un'area per il giardinaggio comunitario e un AgroLab specializzato nella sperimentazione della produzione agricola biologica intensiva. Questo nuovo laboratorio incoraggia la rigenerazione dell'ecosistema urbano, fornendo agli abitanti un vero e proprio hub multidisciplinare, con corsi di formazione professionale e per l'autoproduzione alimentare.

L'area parigina tra il canale Ourcq e la Petite Ceinture Ferroviaria fa parte di un Programma di riqualificazione in fase di completamento attraverso interventi pubblici e misti (Fig. 10). Il progetto è risultato vincitore del bando Reinventare Parigi, lanciato nel novembre 2014 dal Comune, con la finalità di acquisire progetti urbani innovativi: è infatti la prima fattoria di policoltura a Parigi. Gli spazi progettati sono di vario tipo: un centro di accoglienza e reinserimento sociale con 15 alloggi CHRS (alloggio e reinserimento sociale), residenze per studenti, laboratori, una serra di produzione, aree coltivate con permacultura, vasche per la produzione idroponica, un ristorante e un negozio di generi alimentari. L'edificio, pensato per il comfort bioclimatico, presenta una struttura di legno termicamente isolata da balle di paglia ad alta prestazione e un rivestimento interno in terra per la regolazione dell'umidità mentre i materiali e le attrezzature utilizzati sono pensati per ridurre il consumo di energia primaria non rinnovabile e limitare l'effetto serra; fondamentale è inoltre l'attenzione sia al risparmio idrico che al recupero dell'acqua piovana.

Nel 2014, Legambiente Reteambiente Milano, dopo aver ottenuto l'approvazione della municipalità e il sostegno da parte delle Associazioni culturali e sociali locali, ha iniziato i lavori di recupero di un lotto di terreno in via Padova a Mi-



Fig. 1 | Agrotopia in Roeselare designed by Meta Architectuurbureau, 2021 (source: dezeen.com, 2022).

Fig. 2 | Gemeinschaftsgarten Allmende-Kontor in the Tempelhofer Feld, Berlin, 2011 (credit: J. Ganschow, 2020).

Fig. 3 | Desolate area in Moritzplatz (Berlin) before the Prinzessinnengärten, 2009 (credit: M. Clausen, 2018).

Fig. 4 | Aerial photo of Moritzplatz (Berlin) after the intervention of the Prinzessinnengärten designed by Nomadisch Grün, 2009 (source: Google Earth, 2018).



lano, precedentemente usato come discarica abusiva, per realizzare orti condivisi (Fig. 11). L'area è stata attrezzata con zone a prato, aiuole fiorite, cassoni per un orto sperimentale basato su meccanismi di auto fertilità del terreno, senza arature né concimi (ma con pacciamature), per piante da mettere a dimora in modo sinergico e un'area produttiva innovativa per la coltivazione idroponica. In pochi anni grazie alle attività dei volontari, gli orti di Via Padova sono diventati un luogo della condivisione, un punto d'incontro interculturale, di proposte educative, di cura dell'ambiente, proponendosi come modello di azione replicabile, perché facilmente gestibile e dalle notevoli ricadute sul quartiere.

#### Punti di forza, limiti e barriere dei casi studio

I casi studio individuati sono stati analizzati secondo una duplice modalità: quantitativa (Tab. 1) e qualitativa (Tab. 2). La scelta dei casi è stata dettata dall'esigenza di collocare un limite geografico, quello europeo, entro il quale i casi rispondono ai principali obiettivi del New European Bauhaus. Vanno premessi alcuni limiti presenti nel saggio: infatti non è stato possibile recuperare in modo completo alcuni dati per la novità dei progetti stessi e, di conseguenza, per mancanza di una letteratura scientifica strutturata (ad esempio, LCF e la relativa carbon footprint). Le tabelle illustrano i parametri con i quali sono state condotte le analisi, dalle quale emergono i risultati che seguono.

Il progetto che risulta meglio interpretare il valore dell'agricoltura nella ridefinizione del lessico progettuale è la Ferme du Rail a Parigi. La forma agricola produttiva sembra modellare il residuo urbano a contatto con la ferrovia su cui

l'intervento lavora, connettendo diverse quote e reinterpretando, pur in uno spazio limitato, il paradigma formale della cascina (Spagnolo, 2022). Al centro del cortile si sviluppa l'area adibita a permacultura, mentre la coltivazione idroponica indoor è collocata nella parte superiore vetrata degli edifici; è quindi un progetto capace di intessere relazioni dal punto di vista fisico-spaziale, ricucendo quote e spazi diversi, e di declinare forme differenziate della produzione agricola nel progetto, mostrando così relazioni formali positive che si generano dall'incontro tra architettura e agricoltura.

Rispetto ai criteri di sostenibilità sociale, Cité Maraîchère ha ottenuto i migliori risultati in quanto il progetto è studiato per rispondere ai temi di accessibilità, educazione ambientale, formazione e integrazione sociale. Infatti, oltre al carattere produttivo, che combina tecnologie high- e low-tech per ottimizzare la resa energetica e dell'uso delle risorse, il progetto fa della ricerca sull'agricoltura urbana la sua ragion d'essere e il principio aggregatore: sono presenti alloggi temporanei per ricercatori, serre educative e servizi di ristorazione che preparano piatti con i prodotti della fabbrica; inoltre, il progetto impiega ventidue nuove unità lavorative, concretizzando quindi il valore di transizione ecologica promosso dalla municipalità e supportato da stakeholders privati e cittadini.

Ferme Abattoir, infine, incarna il tema del progetto sostenibile inteso nella sua declinazione più tecnica. La sopraelevazione è costituita da una serra high-tech e da un orto outdoor, entrambi collocati sul tetto del nuovo edificio prefabbricato. Il progetto ottimizza gli spazi produttivi integrando diverse tecnologie a seconda della

loro collocazione: alla quota zero si collocano le vasche per la coltura ittica in sinergia con la produzione agricola della serra soprastante (sistema idroponico); la restante parte di copertura piana è destinata a coltivazione su suolo, creando una nuova superficie permeabile che recupera l'acqua piovana, così come il tetto della serra; l'energia per il riscaldamento e l'illuminazione è recuperata dall'edificio sottostante e dai pannelli solari.

In conclusione dalle analisi risulta che un maggior valore di resilienza viene espresso dalla integrazione di azioni progettuali diversificate, anche in presenza di limitata estensione dell'intervento. Emerge inoltre che in tutti e tre i casi sono state integrate tra loro tecnologie produttive high- e low-tech, favorendo così una maggiore biodiversità alimentare e un'ottimizzazione energetica. Oltre a caratterizzarsi per una diversificazione nelle tecniche produttive, i tre progetti promuovono un approccio multifunzionale fondato sui tre principi di sostenibilità che, bilanciati, incrementano l'efficacia e la durabilità dell'intervento per traghettarne la rigenerazione nel tempo e nello spazio.

I casi studio dimostrano una reale fattibilità e replicabilità degli interventi, tuttavia, il panorama internazionale presenta ancora diversi limiti e barriere allo sviluppo capillare di queste attività. Un primo ostacolo deriva dalle condizioni dei suoli urbani, spesso compromessi e non adatti per l'uso agricolo e che richiederebbero un costoso intervento di bonifica per poter essere coltivati (spesso quindi si è costretti a coltivare in cassoni fuori suolo per questo motivo). Una problematica è poi di carattere normativo: l'agricoltura urbana non risulta ancora essere una attività normata,



**Fig. 5** | Meadows and industrial archaeology in the Landschaftspark Herzberg, Berlin, 2017 (credit: Henningsen Landschaftsarchitekten, 2013).

**Fig. 6** | Ferme Abattoir in Brussels designed by ORG architects, 2017 (source: salesguide.visit.brussels, 2022).

**Fig. 7** | Cité Maraîchère in Romainville designed by Il-mego, 2019 (source: archdaily.com, 2022).

come invece avviene per altre tipologie di produzione (industriale e non), all'interno dei regolamenti urbani, edilizi e dei P.R.G. italiani, così come negli strumenti di pianificazione internazionali (Negrello, 2019), rendendo così difficoltosa la produzione e la vendita di prodotti coltivati in contesti urbani. Un'altra importante criticità è rappresentata dagli aspetti economici, in particolare modo per quanto riguarda l'uso di sistemi altamente tecnologizzati nella produzione agricola (come le colture fuori suolo), in cui il costo di gestione (risorse energetiche e umane) influisce pesantemente sulla sostenibilità economica dell'intervento, rendendo poco praticabile la diffusione di queste attività, ragion per cui bisognerebbe riuscire ad instaurare dei sistemi energetici circolari che minimizzino l'uso di risorse.

In questo quadro, il saggio presenta una serie di limiti impliciti. L'exkursus storico, ad esempio, prende in considerazione solo un numero limitato di progetti emblematici, prediligendo una cultura del progetto che tratta il tema dell'agricoltura urbana dalla seconda industrializzazione ad oggi. Allo stesso modo, l'analisi dei casi studio potrebbe arricchirsi di ulteriori sperimenta-

zioni, ampliando le possibili azioni progettuali osservabili e lo sguardo sul panorama europeo contemporaneo. Un'ulteriore limitazione deriva dalla scelta di aver voluto limitare il campo di studio al contesto europeo, quando però sarebbe interessante ampliare lo sguardo e confrontare i risultati con altri contesti geografici.

**Conclusioni e sviluppi futuri** | Lo schema funzionale della Ferme Radieuse di Le Corbusier in fondo aveva già tutti gli elementi di cui discutiamo: nel Villaggio Radioso il Maestro prevedeva la compresenza di abitazioni e giardini, stalle, silos, fienile e capannone organizzati a corte, orto e frutteto (Fig. 12), rappresentando così una visione di fattoria moderna capace di integrare modelli abitativi e produttivi moderni, evoluzione del principio formale della cascina. I modelli del passato, così come quelli del moderno, possono quindi essere fonte di ispirazione per sviluppi e riflessioni future in cui il progetto sarà sempre meno antropocentrico e sempre più orientato verso una coesistenza tra uomo e natura.

L'interpretazione critica dei progetti mostrati conferma questa visione e la metodologia attraverso la quale sono stati analizzati può costituire uno strumento di analisi trasferibile, attraverso cui ampliare la casistica di azioni di rigenerazione legate a soluzioni di agricoltura urbana.

Il saggio apre dunque a possibili scenari di ricerca ulteriori, dove lo studio dei processi di adattamento può essere fondamento per una quantificazione dei servizi ecosistemici generati e per una ricerca più approfondita sulle pratiche nature-based, osservando il loro impatto nella costruzione di una rinnovata cultura urbana e ponendo il progetto in forte relazione con il New European Bauhaus, quale risultato del rapporto tra inclusività, sostenibilità tecnica, e costruzione della forma.

The current anthropogenic climate breakdown, caused by unchecked urbanization, forces a reformulation of the project's discipline (IPCC, 2021; Pylsy, Lylykangas and Kurnitski, 2020). This transformation of spaces can characterize the city in a resilient way. In European urban contexts, extreme precipitation, floods, or heat islands are the main risks to the built environment and a safer existence (Sanesi, Gallis and Kasperidus, 2011), directly affecting the need to adapt space to new climatic conditions. This essay considers the public space of European cities in its necessary lexical-design redefinition, based on innovative strategies that investigate the interference between design and nature (van Eekelen and Bouw, 2020). The urban ground offers the possibility of physical and social regeneration (Santus and Scaioli, 2021; Peleman et alii, 2022), acting on the ability of urban systems to be adaptive to climatic phenomena. This can help regenerate public space, guaranteeing a better quality of life (Negrello and Ingaramo, 2021) and reacting to existing social disparities (Haase, 2017).

Within an array of various nature-based solutions (Kabisch et alii, 2017), urban agriculture can play a role in synthesizing urban space adaptation (Cabral et alii, 2017) and resource production, becoming a strategic objective for the

ecological transition. To contribute to this scope, the spectrum of urban agriculture presents various degrees of technology ranging from traditional crops as a result of historical and social processes, to soil-less solutions, which offer a productive future in dense, impermeable contexts. Thus, urban agriculture could become a key component that characterizes and influences urban projects.

The essay analyses the theme of urban adaptation beginning with experiences in modern design culture. Indeed, during this period, there were questions about the possible formal and functional integration between urban agriculture and the construction of open space, according to the technological possibilities and the themes that characterized the historical period. Moving on to the problems of our contemporaneity, a potential relationship is identified between the New European Bauhaus and the methodology of case study analysis: the principles that the paper identifies as necessary for the city's sustainable design are used to study the selected cases, to detect the different 'resilience' that each project can build, according to the following tripartition: formal sustainability (construction of the form), social (inclusiveness) and ecological (environmental sustainability).

Furthermore, a matrix summarizes and translates these values to morpho-typological issues, with scales and project actions for diversified agricultural production. The intersection of these elements constitutes the main element of originality of the contribution, consisting of a system of themes between theory and project. Hence, this develops an innovative point of view describing the relationship between adaptation and urban agriculture, where actions based on nature become necessary in regeneration processes, capable of combining environmental sensitivity and social cohesion.

### **A historical perspective: urban agriculture in Europe from the second industrialization to today**

In 1930, in Werner Hegemann's controversial text entitled *Das Steinerne Berlin*, the city was defined as 'the largest slum in the world', inhabited for the most part by farmers who moved to the city to work after the second industrialization. The condition of urban decay, which generally existed in large European cities invaded by slums constantly affected by epidemics and without green areas or for the exclusive use of the elite, was the main thrust that gave rise to the great urban plans and social housing, but also leading to evictions and design utopias, including English garden cities and the German Siedlungen.

In this context of widespread fragility, the first morpho-typological experiments on an architectural and urban scale were born, optimizing the internal distribution and planning the large surrounding green spaces to ensure healthier conditions and a better quality of life. Among these experiments, some mediate between the concept of city and countryside, such as the projects in Owen's *Parallelogram*, Cabet's *Icaria*, Arturo Soria y Mata's *linear-city*, or Ebenezer Howard's *garden-city*<sup>1</sup> (Gravagnuolo, 1991): new typologies created by architects such as Bruno Taut are then tested, modifying the tradi-

tional layout of the Siedlungen: no longer along the road but freely arranging them in the green buildings. This concept also returns with Le Corbusier, who, in 1930, imagined the Ville Radieuse developing according to radial patterns protruding into the territory, thus generating areas destined for agricultural production.

Leberecht Migge, involved in the design of the Grosse Siedlungen in Frankfurt am Main and Berlin (Haney, 2010), theorized and built production settlements in which housing and food production were fused to approach a healthier, natural, and autonomous life. For Migge (1999), green was not only for hygiene or urban planning but also for political reasons: a garden per family would have ensured domestic self-sufficiency, freeing families from the capitalist model.

Around the 1990s in the Western world, in a state of general well-being, urban agriculture as a social, educational, and lifestyle tool in cities has become a participatory urban activity with a less temporary and more structured character than in previous periods. If during times of crisis it was encouraged because it was considered a productive system of self-sustaining food, today it is also the 'non-productive' characteristics of urban agriculture that make the practices connected to it considered virtuous examples from a social and environmental perspective. It contributes to the integration of socially disadvantaged groups (Rubino, 2007) and to social involvement in the development of a sense of belonging to the community (Armstrong, 2000; Holland, 2004); moreover, from a spatial point of view, community vegetable gardens often occupy abandoned or residual urban spaces, regenerating them both from a physical and social point of view, as at the Battery Urban Farm in Battery Park in the heart of Manhattan, or on the lakefront of Vevey in Switzerland (Negrello, 2019).

**Spaces of resilience: a possible connection with the New European Bauhaus** | In December 2019, the European Commission (2019), through The European Green Deal, proposed a long-term strategy to structure a transition capable of facing the challenges related to climate change. Sustainable development is promoted

by stimulating carbon and climate neutrality (European Commission, 2018; European Parliament and Council, 2021), encouraging a circular transition attentive to the implementation and enhancement of green spaces. In 2020, with the perspective of the European transition, the desire to transform strategies into cultural experience led to the creation of the New European Bauhaus project (European Commission, 2021) to develop a collective knowledge of the project based on the values of sustainability. This concept is translated into three fundamental principles: aesthetic quality of the project (form beyond functionality), inclusiveness (enhancement of diversity, guarantee of equity, and economic accessibility), and technical sustainability (to translate climate goals into circular strategies, waste-free, that increase biodiversity).

Observing the theme of urban agriculture, starting from the European perspective, becomes the foundation for developing an interpretative key to a sustainable project. Forms of urban agriculture can be considered a tool to increase the adaptability of urban space and the social potential of some areas of the city, but also to regenerate neglected soils. The role of this nature-based strategy lays the foundations for a possible systemic consequence within the urban space construction, interacting with physical and immaterial factors (Artmann and Sartison, 2018). Starting from this assumption, it is possible to synthesize three possible forms of resilient transformation that urban agriculture can offer in continuity with the three fundamental values of the New European Bauhaus.

The first is the increase of physical-spatial resilience: the encounter between agriculture and the urban fabric can be reduced with measurable outcomes, degrees of artificialization, and specific functional destinations. They are different from each other, but all aimed at limiting land consumption, increasing the permeability of the urban terrain, or implementing the possibility of additions to pre-existing built fabrics. Applying urban agriculture solutions allows us to reflect upon the functionality of nature as space in the city, restoring its centrality.

As a second form, urban agriculture is rec-

ognized for its social and ecological benefits that increase socio-economic resilience. For example, it helps to ensure food availability during natural disasters or armed conflicts (Adam-Bradford Hoekstra and van Veenhuizen, 2009), and it can promote inclusion through informal ways of socialization, which generate democratic processes with new forms of participation and responsibility of citizens.

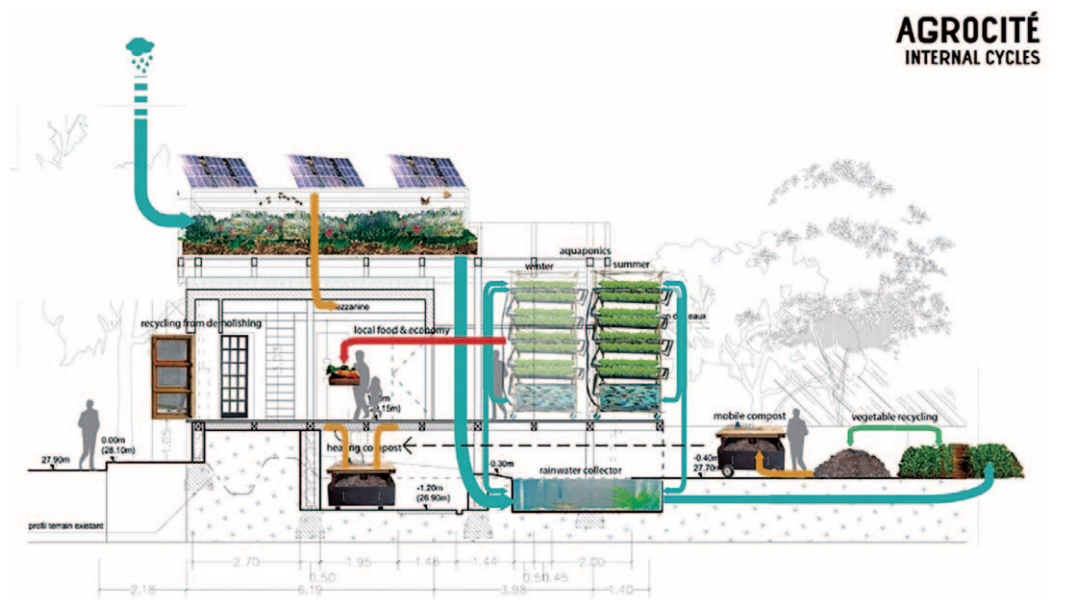
Finally, one of the central elements of nature-based solutions is the increase in the environmental sustainability of the interventions. Urban agriculture can be experienced by developing new approaches that act on the processes of use and regeneration, working on an energy-environmental resilience level. From this perspective, circularity issues, such as reuse and recycling, become relevant tools at various scales, in the first instance concerning the supply of resources, for example, by increasing the reuse of rainwater or the reuse of urban organic waste as fertilizers (Ferreira et alii, 2018).

This possible 'stratification of resilience' within urban agriculture for the public space design identifies the regenerative potential connected to the ecological, social, and productive function. Thanks to the description of the founding elements, it is possible to build a tripartite interpretative key to the project, constituting a measure in the observation of urban practices and processes.

**Experiences of regeneration: project specifications** | The urban space adaptation project has to follow an inter-scalar approach, spreading between the architectural and the urban-territorial scale, that considers circularity and strategies based on nature. The regeneration of the city becomes a long process of modification of places, where the nature-based approach is considered as care and a tool for repairing the public space; this action is based on the one hand on the close observation of the elements present in a place, and on the other on the choice of strategic interventions (Clément, 2012). In the essay, nine European case studies have been analysed through the interpretation structure (mentioned in the previous paragraph) to understand the possible im-



Fig. 8, 9 | Agrocité in Gennevilliers designed by Atelier d'Architecture Autogérée, 2020 (source: r-urban.net, 2022).



**AGROCITÉ**  
INTERNAL CYCLES





**Fig. 10** | Ferme du Rail in Paris designed by Grand Huit architecture + Melanie Drevet, 2020 (source: ge200.ch, 2022).  
**Fig. 11** | Vegetable gardens of via Padova in Milan by Legambiente Reteambiente Milano, 2012 (credit: F. Beccari, 2022).

plications of urban agriculture in architecture. Different forms of urban agriculture are applied to projects of variable dimensions, from the urban to the architectural scale, giving feedback to the project's approaches and morpho-typological implications.

The first case taken into consideration is located in Roeselare, considered the Belgian agricultural province, also known as 'the vegetable garden of Europe' (Fig. 1). Since 2021, on the roof of the REO Veiling market stands Agrotopia, a project designed for applied research and for developing innovative indoor urban horticulture processes. Designed under the supervision of Wageningen University, Agrotopia is part of the Flemish government's architectural pilot projects for the productive landscape. From the outside, with its faceted glass facades and the entrance staircase, it appears as a compact block that Meta Architectuurbureau describes as 'a proud and transparent sculpture of steel and glass'. The structure uses rainwater recovered from the roofs, stored in silos, and the irrigation runoff is recycled and reused, while the heating comes from the residual heat of a nearby waste-to-energy plant in circular symbiosis with the city.

In Berlin, the Allmende Kontor community vegetable garden born in 2011 (Fig. 2), located within Tempelhofer Feld, has been officially recognized in 2014 as the largest public park in the city. The idea of the shared garden was promoted by the 100% Tempelhofer Feld Association of gardeners, which began to cooperatively manage hundreds of small vegetable gardens on raised bedding so that the garden was mobile. The garden now has about 250 raised flower beds and more than 500 gardeners worldwide, establishing itself as a recognized symbol of participation and resistance to the privatization of public space in the city. The area is a fragment of urban nature accessible to all, with benches and seating, and serves as a meeting place where

educational and environmental awareness activities are carried out.

In Kreuzberg, in 2009, the Nomadisch Grün Association rented about 1.5 acres of uncultivated land to create a green space for the community, launching the Prinzessinnengärten as a pilot project of mobile urban vegetable gardens (Fig. 3, 4). The operation did not significantly alter the site: existing trees were preserved, small interventions of land modelling have been carried out, the area has been divided for the different activities (cultivation, beekeeping, garden café), and the Nachbarschafts Akademie (Academy of the neighbourhood) has been realized with a frame wood structure, designed by Fatkoehl Architekten. The building, which has a modular design and is open source, is designed considering the solar exposition, avoiding shadowing the garden, and allowing further implementation of gardens on terraces.

In 2007, in the industrial area of Lichtenberg, the Landschaftspark Herzberge Park (Fig. 5) has risen from the recovery of uncultivated and agricultural green areas and the gardens of the former municipal asylum (1893), which were protected by the construction of new settlements. The intervention systematized the residual spaces through paths and created a place for aggregation and agricultural production. Inside the park, since 2017, the startup TopFarmers GmbH has been managing the Stadtfarm Berlin. This hydroponic farm reuses three greenhouses built in the 1970s to produce vegetables and raise African catfish, using the closed-circuit system of Aqua-TerraPonik Farming.

Another project that utilizes an abandoned area is the Ferme Abattoir. The project is located inside the lot of the former slaughterhouse of Anderlecht in Brussels, in a central area of the city included in the redevelopment project designed by the ORG (Fig. 6). In this case, while the development of the area was commissioned by the

city of Brussels, the Ferme project is being run by the company BIGH. The idea is the result of a public-private partnership aimed at giving a new function to the area and applying the principles of circularity. Crop growth systems range from high-tech hydroponic technologies (located in the bioclimatic greenhouse) to traditional soil-based solutions, with seasonal cultivation on the roof garden, thus exploiting the unused surface of the market and making it productive. Thanks to the circular approach, energy is recovered from the building below and solar panels. The plants in the greenhouse and on the rooftop garden, watered with stored rainwater, can store between 42 and 56 tons of CO<sub>2</sub>/year.

In Romainville in the Paris metropolitan area, government guidelines for the redevelopment of social housing neighbourhoods are embodied in the Cité Maréchère (Fig. 7), which promotes actions for ecological transition. The structure, made of steel and concrete, comprises two buildings with a central shaft that allows natural ventilation. Conceived as a controlled bioclimatic environment, the new factory combines natural ventilation systems and high-performance thermal envelopes. Crop growth is spread over all floors of the building, and everything is based on the idea of ecology and economic circularity. The incoming resources (light, water, heat, and waste) are managed to maximize performance. The growing substrate is obtained from tested organic waste and used for experimenting with soilless agricultural techniques in collaboration with AgroTech Paris. From an ecological, technical, and economic point of view, the project questions traditional indoor crop management principles, by combining high- and low-tech solutions.

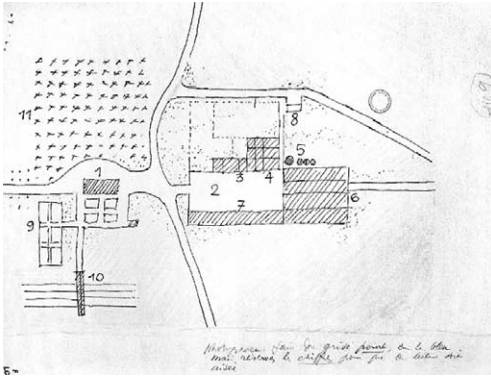
In 2008 in Colombes, the French collective Atelier d'Architecture Autogérée was launched as part of the R-Urban initiative and the pilot project of bottom-up regeneration Agrocité (Figg.

|  |  | Promoter   | Designers                                      | Location                            | Dates     | Growing System  | Growing Surface                    | Growing Season  | Annual Yield  |
|--|--|--|--|-------------------------------------|-----------|---|------------------------------------|-----------------|---|
| 1. Agrotopia, Roeselare (BE)                         |  | Inagro, RED veiling (Pilot project PPPL)           | Meta Architecturbureau + Wageningen University | Roeselare (BE) (50° N latitude)     | from 2021 | indoor hydroponic system  | 6.000 mq                           | all the year    | /   |
| 2. Gemeinschaftsgarten Allmende-Kontor, Berlino (DE) |  | Association Gemeinschaftsgarten Allmende-Kontor eV | co-designed                                    | Berlino (DE) (52° N latitude)       | from 2011 | outdoor grow boxes  | 8.000 mq                           | April - October | /   |
| 3. Prinzessinnengärten Moritzplatz, Berlino (DE)     |  | Nomadisch Grün                                     | co-designed                                    | Berlino (DE) (52° N latitude)       | from 2009 | outdoor grow boxes  | 6.000 mq                           | April - October | 500 varieties of organic crops  |
| 4. Landschaftspark Herzberg, Berlino (DE)            |  | TopFarmers GmbH startup                            | /  | Berlino (DE) (52° N latitude)       | from 2017 | indoor aquaponic system + outdoor traditional on-soil cultivation                 | 5.000 mq                           | April - October | organic crops + African catfish (Clarias Gariepinus)                            |
| 5. Ferme Abattoir, Brussels (BE)                     |  | BIGH Anderlecht SA                                 | ORG architects                                 | Bruxelles (BE) (50° N latitude)     | from 2017 | indoor aquaponic and hydroponic systems + outdoor traditional on-soil cultivation | 2.000 mq indoor + 2.000 mq outdoor | all the year    | unknown agricultural + 23 tons of Iridea trout                                  |
| 6. Cité Maraichère, Romainville (FR)                 |  | City of Romainville                                | Ilimego  | Romainville (FR) (48° N latitude)   | from 2019 | indoor hydroponic system + mushroom farming                                       | 1.430 mq                           | all the year    | 6 tons of vegetables + 4 tons of mushrooms                                      |
| 7. Agrocité, Gennevilliers (FR)                      |  | Atelier d'Architecture Autogérée (AAA)             | co-designed                                    | Gennevilliers (FR) (48° N latitude) | from 2020 | outdoor traditional on-soil cultivation   | 2.000 mq                           | April - October | /   |
| 8. Ferme du Rail, Paris (FR)                         |  | City of Paris                                      | Grand Huit architecture + Melanie Drevet       | Paris (FR) (48° N latitude)         | from 2020 | outdoor permaculture + indoor hydroponic system                                   | 600 mq                             | all the year    | /   |
| 9. Orti di via Padova, Milano (IT)                   |  | Legambiente Reteambiente Milano                    | co-designed + co-built                         | Milano (IT) (45° N latitude)        | from 2012 | outdoor grow boxes + outdoor hydroponic system                                    | 500 mq                             | all the year    | variation according to the natural calendar (higher yield in the summer months) |

|  |  | "Form construction"      |                              |                      | "Inclusiveness"     |                    |                   | "Environmental sustainability" |                         |                          | Project actions  |
|--|--|--------------------------|------------------------------|----------------------|---------------------|--------------------|-------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------|--|
|  |  | IALOGUE WITH THE CONTEXT | FORM-PRODUCTION RELATIONSHIP | USE OF THE MATERIALS | SPACE ACCESSIBILITY | SOCIAL INVOLVEMENT | LEARNING FUNCTION | RECOVERY OF PERMEABLE SURFACES | PRODUCTIVE BIODIVERSITY | CIRCULARITY OF RESOURCES | REGENERATE SOILS<br>LAYERING FUNCTIONS<br>ESTABLISH CIRCULAR SYSTEMS |
| 1. Agrotopia, Roeselare (BE)                         |  |                          |                              |                      |                     |                    |                   |                                |                         |                          |  |
| 2. Gemeinschaftsgarten Allmende-Kontor, Berlino (DE) |  |                          |                              |                      |                     |                    |                   |                                |                         |                          |  |
| 3. Prinzessinnengärten Moritzplatz, Berlino (DE)     |  |                          |                              |                      |                     |                    |                   |                                |                         |                          |  |
| 4. Landschaftspark Herzberg, Berlino (DE)            |  |                          |                              |                      |                     |                    |                   |                                |                         |                          |  |
| 5. Ferme Abattoir, Brussels (BE)                     |  |                          |                              |                      |                     |                    |                   |                                |                         |                          |  |
| 6. Cité Maraichère, Romainville (FR)                 |  |                          |                              |                      |                     |                    |                   |                                |                         |                          |  |
| 7. Agrocité, Gennevilliers (FR)                      |  |                          |                              |                      |                     |                    |                   |                                |                         |                          |  |
| 8. Ferme du Rail, Paris (FR)                         |  |                          |                              |                      |                     |                    |                   |                                |                         |                          |  |
| 9. Orti di via Padova, Milano (IT)                   |  |                          |                              |                      |                     |                    |                   |                                |                         |                          |  |

Tab. 1 | References Data (credit: the authors, 2022).

Tab. 2 | References, principles, project actions (credit: the authors, 2022).



**Fig. 12** | Ferme Radieuse designed by Le Corbusier, 1937 (credit: Le Corbusier, 1937).

8, 9). In April 2018, the second edition was inaugurated in Gennevilliers in the north-western suburb of Paris. Unlike the first experiment, it found fertile ground which, despite numerous petitions and protests, was forcibly uprooted by the authorities' decision to make way for a parking lot. Agrocité is structured as a wooden pavilion with some classrooms, a cafeteria, a cooperative shop for responsible consumption, a vegetable market, a greenhouse, and a farm with hives for beekeeping. The unit consists of three areas: an area for activities related to nature and agriculture, an area for community gardening, and an AgroLab specialized in experimenting with intensive organic agricultural production. This new laboratory encourages the regeneration of the urban ecosystem, providing the inhabitants with a multidisciplinary hub offering professional training courses and food production for individual consumption.

The Parisian area between the Ourcq Canal and the Petite Ceinture is part of a redevelopment program completed through public and mixed interventions (Fig. 10). The project was the winner of the Reinvent Paris call launched in November 2014 by the Municipality to acquire innovative urban projects and is, in fact, the first polyculture farm in Paris. The spaces designed are of various types: a reception and social reintegration centre with 15 CHRS accommodations (accommodation and social reintegration), student residences, laboratories, a production greenhouse, areas cultivated with permaculture, tanks for hydroponic production, a restaurant, and a grocery store. The building, designed for bioclimatic comfort, has a wooden structure thermally insulated by high-performance straw bales and an internal lining in the earth for humidity regulation, while the materials and equipment used are designed to reduce the consumption of non-renewable primary energy and limit its contribution to the greenhouse effect. It also includes water-saving and rainwater recovery systems.

In 2014, Legambiente Reteambiente Milano, after obtaining the approval of the municipality and the support of the local cultural and social associations, began the recovery work of a plot of land in via Padova in Milan to create shared vegetable gardens on a site previously used as an illegal landfill (Fig. 11). The site includes lawn areas, flower beds, and caissons for an experimental vegetable garden based on mechanisms of self-fertility of the soil without plowing or fertil-

izers but rather with mulch for plants to be planted synergistically and an innovative production area for hydroponic cultivation. In a few years, thanks to a robust volunteer effort, the vegetable gardens of Via Padova have become a place of sharing, an intercultural meeting point featuring educational proposals, care for the environment, and serving as a model of replicable action due to its ease of maintenance and positive contribution to the neighbourhood.

**Advantages, limits, and barriers of the case studies** | The case studies identified were analysed in quantitative (Tab. 1) and qualitative (Tab. 2) manners. The choice of cases was dictated by the need to place a geographical limit (a European one) within which the cases respond to the main objectives of the New European Bauhaus. Some limitations of the essay should be noted: for example, it was not possible to fully recover some data due to the novelty of the projects themselves and, consequently, due to the lack of structured scientific literature (for example, LCF and its carbon footprint). The tables illustrate the parameters with which the analyses were conducted, and from which the following results emerged.

The project that best interprets the value of agriculture in the redefinition of the design lexicon is the Ferme du Rail in Paris. The productive agricultural form seems to model the urban residue in contact with the railway on which the intervention works, connecting different heights and reinterpreting, albeit in a limited space, the formal paradigm of the farmhouse (Spagnolo, 2022). The permaculture area develops in the courtyard's centre, while indoor hydroponic cultivation is located in the upper glazed part of the buildings. Therefore, it is a project capable of weaving relationships from a physical-spatial point of view, mending different dimensions and spaces, and providing differentiated forms of agricultural production in the project, thus showing positive formal relationships generated by the encounter between architecture and agriculture.

For the social sustainability criteria, Cité Maraîchère obtained the best results, as the project is designed to respond to issues of accessibility, environmental education, training, and social integration. In fact, in addition to the production character, which combines high- and low-tech technologies to optimize energy yield and use of resources, the project makes research on urban agriculture its *raison d'être* and the aggregating principle by including temporary housing for researchers, educational greenhouses and catering services that prepare dishes with the products of the factory. In addition, the project employs twenty-two new work units. The project, therefore, concretizes the value of ecological transition promoted by the municipality and supported by private stakeholders and citizens.

Finally, Ferme Abattoir embodies the theme of sustainable design understood in its more technical approach. The elevation consists of a high-tech greenhouse and an outdoor vegetable garden, both located on the roof of a new, prefabricated building. The project optimizes the production spaces by integrating different technologies according to their location: at zero altitudes, the tanks for fish farming are placed in

synergy with the agricultural production of the greenhouse above (hydroponic system); the remaining part of the flat roof is intended for cultivation on soil, creating a new permeable surface that recovers rainwater as well as the roof of the greenhouse; and the energy for heating and lighting is recovered from the building below and via solar panels.

In conclusion, the analyses show that a better resilience value is expressed by integrating diversified project actions, even in the presence of limited intervention. It also emerges that high- and low-tech production technologies were integrated into all three cases, thus promoting greater food biodiversity and energy optimization. In addition to being characterized by diversification in production techniques, the three projects promote a multifunctional approach based on the three principles of sustainability, which, when balanced, increase the effectiveness and durability of the intervention to ferry its regeneration over time and space.

The case studies demonstrate the actual feasibility and replicability of the interventions. However, the international scene still presents various limits and barriers to the widespread development of these activities. A first obstacle derives from the conditions of urban soils, which are often compromised and unsuitable for agricultural use and would require an expensive reclamation effort to be cultivated (therefore forcing cultivation in soilless boxes for this reason). Another problem is regulatory: urban agriculture is not yet a regulated activity, as is the case for other types of production (industrial and otherwise), within urban building regulations and the Italian PRGs, as well as in international planning tools (Negrello, 2019), thus making the production and sale of products grown in an urban context difficult. Another important criticality is represented by the economic aspects, especially with regards to the use of highly technological systems in agricultural production (such as soilless crops), in which the management cost (including energy and human resources) heavily affects the economic sustainability of the intervention, making the diffusion of these activities impractical, which is why circular energy systems that minimize the use of resources are essential.

In this context, the essay presents some implicit limitations. For example, the historical excursus considers only a limited number of emblematic projects, preferring a general perspective capable of structuring a *fil rouge* within the design culture, dealing with the theme of urban agriculture in projects from the second industrialization until today. Similarly, the analysis of the case studies could be enriched by further experimentation, expanding the possible observable design actions and the gaze on the contemporary European landscape. Finally, a further limitation derives from restricting the field of study to the European context (due to the authors' familiarity). However, broadening the gaze and comparing the results with other geographical contexts would be interesting.

**Conclusions and future developments** | The functional scheme of Le Corbusier's Ferme Radieuse already had all the elements we are discussing: in the Radiant Village, Le Corbusier en-

visaged the coexistence of houses and gardens, stables, silos, barn and shed organized in a courtyard, and vegetable gardens and orchard (Fig. 12), thus representing a vision of a contemporary farm capable of integrating modern housing and production models as an evolution of the formal principle of the farmhouse. Therefore, historical models, such as those of the modern era, can inspire future developments and reflections: the project will be less anthro-

pocentric and more oriented towards coexistence between man and nature.

The critical interpretation of the projects illustrated confirms this view, and the methodology through which they have been analysed can constitute a transferable analytical tool through which to broaden the range of regeneration actions linked to urban agriculture solutions. The essay thus opens up possible further research scenarios, where the study of adaptation pro-

cesses can be the basis for a quantification of the ecosystem services generated. More in-depth research on nature-based practices is needed to observe their impact in order to renew urban culture and raise awareness of novel design solutions that relate to the New European Bauhaus and improve inclusiveness, technical sustainability, and construction of form.

## Acknowledgements

The contribution is the result of a joint reflection of the authors. Despite this, the introductory paragraph is to be attributed to K. Santus, the paragraph 'A historical perspective: urban agriculture in Europe from the second industrialization to today' is to be attributed to D. Roccaro, the paragraph 'Spaces of resilience: a possible link with the New European Bauhaus' is to be attributed to K. Santus and I. Spagnolo, the paragraph 'Regeneration experiences: project specifications' is to be attributed to M. Negrello and D. Roccaro, the paragraph 'Advantages, limits and barriers of case studies' is to be attributed to M. Negrello and I. Spagnolo, the paragraph 'Conclusions and future developments' is attributed to the four authors.

## Notes

1) As featured in Garden Cities of Tomorrow (Howard, 1902), the heart of the project lies in the mediation between city and countryside, within a nucleus capable of summarizing the positive requirements of both conditions.

## References

Adam-Bradford, A., Hoekstra, F. and van Veenhuizen, R. (2009), "Linking relief, rehabilitation and development – A role for urban agriculture", in *Urban Agriculture*, n. 21, pp. 3-10. [Online] Available at: [urban-agriculture-europe.org/files/adam-bradford\\_2009\\_linking\\_relief\\_rehabilitation\\_and\\_development\\_a\\_role\\_for\\_urban\\_agriculture.pdf](http://urban-agriculture-europe.org/files/adam-bradford_2009_linking_relief_rehabilitation_and_development_a_role_for_urban_agriculture.pdf) [Accessed 25 March 2022].

Armstrong, D. (2000), "A survey of community gardens in upstate New York – Implications for health promotion and community development", in *Health & Place*, vol. 6, issue 4, pp. 319-327. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/S1353-8292\(00\)00013-7](https://doi.org/10.1016/S1353-8292(00)00013-7) [Accessed 25 March 2022].

Artmann, M. and Sartison, K. (2018), "The Role of Urban Agriculture as a Nature-Based Solution – A Review for Developing a Systemic Assessment Framework", in *Sustainability*, vol. 10, issue 6, 1937, pp. 1-32. [Online] Available at: [doi.org/10.3390/su10061937](https://doi.org/10.3390/su10061937) [Accessed 25 March 2022].

Cabral, I., Costa, S., Weiland, U. and Bonn, A. (2017), "Urban Gardens as Multifunctional Nature-Based Solutions for Societal Goals in a Changing Climate", in Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J. and Bonn, A. (eds), *Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas – Theory and Practice of Urban Sustainability Transitions*, Springer, Cham, pp. 237-253. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5_14) [Accessed 25 March 2022].

Clément, G. (2012), *Breve storia del giardino*, Quodlibet, Macerata.

European Commission (2021), *New European Bauhaus – Shaping more beautiful, sustainable and inclusive forms of living together*. [Online] Available at: [europa.eu/new-european-bauhaus/index\\_en](http://europa.eu/new-european-bauhaus/index_en) [Accessed 25 March 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/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN) [Accessed 25 March 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 and the European Investment Bank – A Clean Planet for all – A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*, document 52018DC0773, 773 final. [Online] Available at: [eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0773&qid=1649170346917](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0773&qid=1649170346917) [Accessed 25 March 2022].

European Parliament and Council (2021), *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, L 243/1. [Online] Available at: [eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R1119&qid=1649169726263](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R1119&qid=1649169726263) [Accessed 25 March 2022].

Ferreira, A. J. D., Mendes Guilherme, R. I., Santos Ferreira, C. S. and Lorena de Oliveira, M. M. (2018), "Urban agriculture, a tool towards more resilient urban communities?", in *Current Opinion in Environmental Science & Health*, vol. 5, pp. 93-97. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.coesh.2018.06.004](https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.06.004) [Accessed 24 January 2022].

Gravagnuolo, B. (1991), *La progettazione urbana in Europa – 1750-1960 – Storia e teorie*, Laterza, Bari.

Haase, A. (2017), "The Contribution of Nature-Based Solutions to Socially Inclusive Urban Development – Some Reflections from a Social-environmental Perspective", in Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J. and Bonn, A. (eds), *Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas – Theory and Practice of Urban Sustainability Transitions*, Springer, Cham, pp. 221-236. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5_13) [Accessed 25 March 2022].

Haney, D. H. (2010), *When Modern Was Green – Life and Work of Landscape Architect Leberecht Migge*, Routledge, London.

Holland, L. (2004), "Diversity and connections in community gardens – A contribution to local sustainability", in *Local Environment*, vol. 9, issue 3, pp. 285-305. [Online] Available at: [doi.org/10.1080/1354983042000219388](https://doi.org/10.1080/1354983042000219388) [Accessed 25 March 2022].

Howard, E. (1902), *Garden Cities of Tomorrow*, Swan Sonnenschein, London.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2021), *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis – Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press. [Online] Available

at: [ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Full\\_Report.pdf](https://ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf) [Accessed 25 March 2022].

Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J. and Bonn, A. (eds), *Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas – Theory and Practice of Urban Sustainability Transitions*, Springer, Cham.

Migge, L. (1999), *Der soziale Garten – Das grüne Manifest*, Gebr. Mann, Berlin.

Negrello, M. (2019), *Architecture for urban agriculture – Spaces and architectures for commercial indoor 'zero-acreage farms'*, Doctoral Dissertation, Doctoral Program in Architecture – History and Project (31st Cycle), DAD – Department of Architecture and Design, Politecnico di Torino.

Negrello, M. and Ingaramo, R. (2021), "Lo spazio del burn-out – Destructurare per costruire forme alternative per l'abitare | The burn-out space – Destructuring to build alternative living forms", in *Ardeh*, vol. 8, pp. 1-18. [Online] Available at: [doi.org/10.17454/ARDETH08.11](https://doi.org/10.17454/ARDETH08.11) [Accessed 25 March 2022].

Peleman, D., Ronner, E., Barcellona, M. and Viganò, P. (2022), "Exploring the Soil – Not a Sentimental Journey", in *OASE | Journal of Architecture – A project of the soil*, vol. 110, pp. 4-15.

Pylsy, P., Lylykangas, K. and Kurnitski, J. (2020), "Buildings' energy efficiency measures effect on CO<sub>2</sub> emissions in combined heating, cooling and electricity production", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 134, 110299, pp. 1-18. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.rser.2020.110299](https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110299) [Accessed 25 March 2022].

Rubino, A. (2007), "The allotment gardens of the Ile de France – A tool for social development", in *Journal of Mediterranean Ecology*, vol. 8, pp. 67-75. [Online] Available at: [jmedecology.com/wp-content/uploads/2014/03/67-75-Rubino.pdf](https://jmedecology.com/wp-content/uploads/2014/03/67-75-Rubino.pdf) [Accessed 25 March 2022].

Sanesi, G., Gallis, C. and Kasperidus, H. D. (2011), "Urban Forests and Their Ecosystem Services in Relation to Human Health", in Nilsson, K., Sangster, M., Gallis, C., Hartig, T., de Vries, S., Seeland, K. and Schipperijn, J. (eds), *Forests, Trees and Human Health*, pp. 23-40. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/978-90-481-9806-1\\_2](https://doi.org/10.1007/978-90-481-9806-1_2) [Accessed 25 March 2022].

Santus, K. and Scaioli A. (2021), "Designing the urban commons through gender and nature-based approach – A renewed project for public space in times of crisis", in *Ri-Vista | Research for Landscape Architecture*, vol. 19, n. 2, pp. 208-221. [Online] Available at: [doi.org/10.36253/rv-11426](https://doi.org/10.36253/rv-11426) [Accessed 25 March 2022].

Spagnolo, I. (2022), "Sharing Landscape – Beyond the urban-rural dialectic – The FARM as a FORM of urban resilience", in *CA2RE+DELFT*. [Online] Available at: [delft.ca2re.eu/submissions/spagnolo-sharing-landscape-beyond-the-urban-rural-dialectic?s=s](https://delft.ca2re.eu/submissions/spagnolo-sharing-landscape-beyond-the-urban-rural-dialectic?s=s) [Accessed 25 March 2022].

van Eekelen, E. and Bouw, M. (2020), *Building with nature – Creating, implementing and upscaling Nature-based Solutions*, NAI010 publishers, Rotterdam.

## PROGETTARE L'ECOLOGIA

Il vegetale come paradigma possibile di un'architettura sostenibile e resiliente

## DESIGNING ECOLOGY

The organic as a possible paradigm of a sustainable and resilient architecture

Beatrice Balducci, Francesco Camilli

### ABSTRACT

L'integrazione della dimensione vegetale può costituire una strategia per ridurre l'impatto dell'architettura sull'ambiente e risulta centrale nell'affrontare la crisi climatica. Inserendosi in una più ampia discussione sulla relazione tra uomo e natura, il contributo mostra come sia possibile ampliare la comprensione dell'ecologia dell'architettura, da un lato, guardando a come alcune tecniche costruttive vernacolari instaurano un rapporto con la materia vegetale vivente, dall'altro, tramite avanzate sperimentazioni architettoniche che indagano la natura disomogenea del legno per integrarla nel progetto. L'obiettivo è proporre l'inclusione della dimensione vegetale in architettura non solo come problematica materiale ma come un cambio di paradigma culturale in cui l'edificio, piuttosto che come manufatto inerte, viene interpretato come nuovo tassello di una più ampia e complessa ecologia.

The integration of the organic dimension can be a strategy to reduce the impact of architecture on the environment and appears relevant to addressing the climate crisis. Positioning in a wider discussion on the relationship between man and nature, the paper shows how it is possible to broaden the understanding of the ecology of architecture, on the one hand, by looking at how some vernacular building techniques establish a relationship with living organic materials, on the other hand, through advanced architectural experiments that investigate the inhomogeneous nature of wood in order to integrate it into the project. The goal is to propose the inclusion of the organic dimension in architecture not only as a material issue but as a cultural paradigm shift where the building, rather than as an inert artefact, is interpreted as a piece of a broader and more complex ecology.

### KEYWORDS

materiali vegetali, dinamiche ecologiche, sostenibilità, architetture tradizionali, ricerche sperimentali

organic materials, ecological dynamics, sustainability, vernacular architecture, experimental research

**Beatrice Balducci** is an Architect and PhD Candidate in Architectural, Urban and Interior Design at the Department of Architecture and Urban Studies at Politecnico di Milano (Italy). In her research, she investigates design possibilities and methodologies in preparation for natural disasters, focusing on the design of hybrid and adaptable spaces. Mob. +39 346/09.69.894 | E-mail: [beatrice.balducci@polimi.it](mailto:beatrice.balducci@polimi.it)

**Francesco Camilli**, Architect and PhD, is a Postdoctoral Research Fellow at Umeå University School of Architecture (Sweden). He carries out research in the field of architectural theory, with particular attention to sustainability and the social, political and cultural aspects of space transformations. Mob. +39 348/93.58.298 | E-mail: [francesco.camilli@umu.se](mailto:francesco.camilli@umu.se)

L'integrazione della dimensione vegetale in architettura, interpretata come l'assimilazione della complessa ecologia del materiale organico nel processo progettuale, realizzativo e d'uso dell'edificio, è un approccio affascinante che, se adeguatamente inquadrato, può consentire di affrontare criticamente l'uso di materiali vegetali in architettura. Questa pratica antica è oggi straordinariamente attuale alla luce delle sfide ambientali (Attmann, 2010) che l'umanità sta affrontando: infatti, l'utilizzo di materiali costruttivi vegetali, organici, vivi, e per questo mutevoli, può costituire una possibile strategia non solo per ridurre l'impatto ecologico dell'architettura ma anche una possibile risposta alle sfide poste da un ambiente reso sempre più dinamico dall'aumento degli eventi climatici estremi e che mette in discussione la natura permanente del costruito.

Il presente contributo intende quindi esplorare l'impiego di materiali vegetali nell'architettura, focalizzandosi sulle complesse dinamiche ecologiche che li differenziano dai materiali inerti, specialmente a fronte di un'emergenza climatica che reclama il ripensamento del progetto di architettura da un punto di vista di metodo, processo e costruzione (Iturbe, 2019). Verranno descritti alcuni esempi di architettura vernacolare che utilizzano piante vive sfruttandone la capacità di rispondere al mutare delle condizioni ambientali, così come recenti sperimentazioni che affrontano le caratteristiche organiche del legno non come ostacolo tecnico ma come proprietà da studiare e sfruttare per promuovere un uso più efficiente di questo materiale. Questi esempi mostrano due strade per integrare l'ecologia nel progetto: da un lato tramite le nozioni empiriche derivate dalla tradizione, dall'altro attraverso le conoscenze derivate da ricerca scientifica e sperimentazione tecnica. L'obiettivo è quello di proporre l'inclusione della dimensione vegetale nel progetto di architettura non solo come problematica tecnica o materiale ma come un cambio di paradigma culturale in cui l'edificio, piuttosto che come manufatto inerte, viene interpretato come nuovo tassello di una più ampia e complessa ecologia.

Nella prima sezione del contributo, a partire da una critica alla visione antropocentrica della natura, verrà formulata una riflessione sulla necessità di una rinnovata e approfondita comprensione delle complesse dinamiche ecologiche in cui i processi di trasformazione dello spazio si inseriscono, interpretando l'oggetto architettonico non come statico e passivo, ma come parte di un ampio sistema di relazioni che operano nello spazio e nel tempo. Nella seconda sezione, attraverso una serie di esempi tratti da tradizioni indigene e vernacolari verrà messo in luce come l'utilizzo di materiali vegetali per la costruzione, quando impiegati come materia organica, attiva e dinamica, possa innescare processi ecologici a più ampia scala, consentendo inoltre di rispondere a esigenze locali di protezione nei confronti di eventi climatici estremi. Nella terza sezione si affronteranno prospettive di ricerca contemporanee su modalità innovative di utilizzo dei materiali vegetali in architettura. Nelle conclusioni, si discuterà come l'impiego di materiali organici e l'attenzione al processo in cui questi si inseriscono e che possono a loro volta generare, possano essere un paradigma

possibile per un'architettura che diventa sostenibile rinnovando in chiave ecologica il suo rapporto con la natura.

**Comprendere i materiali e il loro impatto** | La necessità di rendere sostenibili i processi di trasformazione dello spazio investe necessariamente la dimensione materiale dell'architettura: i cicli produttivi e le caratteristiche fisiche dei materiali impiegati per la realizzazione di un edificio determinano infatti l'impatto ambientale della sua realizzazione e del suo utilizzo (Sposito and Scalisi, 2020). Tuttavia, ridurre la ricerca della sostenibilità in architettura alla semplice scelta di un materiale 'sostenibile' appare una strategia insufficiente a rispondere alla complessità del problema. Per capire l'impatto di un edificio è necessario leggerlo come parte di un ampio sistema di relazioni che operano non solo nello spazio ma anche nel tempo, ribaltando la classica visione che concepisce l'oggetto architettonico come statico e passivo. La dimensione materiale dell'edificio è infatti spesso vista come elemento che si piega indifferentemente alle indicazioni formali del progetto, ponendo al più resistenze di natura tecnica da superare tramite l'atto creativo. Una visione secolare e antropocentrica che pone l'uomo al di fuori della natura e in conflitto con essa e che è, probabilmente, alla base della crisi ecologica che stiamo vivendo.

L'esigenza di superare questo antropocentrismo emerge dal lavoro di diversi studiosi in ambito architettonico ma anche filosofico; gli studi sulla dimensione affettiva che indagano la possibilità che i sentimenti umani possano avere una genesi non esclusivamente soggettiva (Griffero, 2016), il nuovo realismo descritto da Maurizio Ferraris (2012) che riconcilia l'oggettività del reale con il ruolo costruttivo del pensiero, la Actor Network Theory che interpreta la realtà come sistema di relazioni non gerarchiche (Latour, 2005; Yaneva, 2017), la Object Oriented Ontology che supera il trascendentalismo kantiano contestando la totale inconoscibilità di ciò che è al di fuori del pensiero (Harman, 2018), sono tutte teorizzazioni che hanno come comune denominatore la volontà di superare quel pensiero positivista che riconduce la conoscibilità dell'esistente alla razionalità umana. In modi diversi, questi studi tentano di restituire legittimità alla realtà esterna all'uomo, cercando di circoscrivere un campo di oggettività non passibile di interpretazioni relativistiche: il punto di vista umano non viene escluso, viene però interpretato non più come principio ordinatore ma come elemento di una rete di relazioni non gerarchica.

Un simile cambio di paradigma appare necessario anche nell'ambito della cosiddetta transizione ecologica: perseguire la diminuzione degli impatti materiali, senza però mettere in discussione il paradigma che vede la natura come risorsa da sfruttare, come dimensione altra, non umana, da preservare quasi come pura merce, risorsa o materiale inerte (Morton, 2016) appare un modo di affrontare il problema senza mettere in discussione il modello di sviluppo che lo ha generato. La necessità di un radicale ripensamento del paradigma che regola il rapporto uomo-natura è stata efficacemente rappresentata nel numero 47 della rivista *Log*, curato da Elisa Iturbe, nel quale la 'carbon form' è da lei descrit-

ta come il risultato di processi produttivi industriali basati sulla combustione di fonti di energia fossili. Secondo Iturbe (2019, p. 11) «[...] energy must be understood beyond its technical capacity, viewed instead as a political and cultural force with inevitable spatial repercussions». Questo implica che un modo nuovo e sostenibile di rapportarsi alla produzione e al consumo di energia debba andare di pari passo con un modo nuovo di produrre spazio.

In questo senso l'introduzione di una dimensione vegetale nel progetto di architettura può essere l'occasione per ripensare l'approccio alla dimensione materiale dell'edificio: prendere atto della complessa ecologia di cui il materiale da costruzione fa parte, e di che cosa comporti intervenire su di essa ricercando un dialogo simbiotico tra antropico e naturale, architettura e ambiente, non limitandosi all'introduzione di innovazioni tecnologiche che usino il prefisso 'bio-', ma interrogandosi su cosa significhi progettare includendo le dinamiche organiche e incerte della dimensione vegetale, può aprire scenari di rinnovamento per i metodi e i processi dell'architettura.

Mentre i materiali minerali sono frutto di processi geologici lunghi centinaia di milioni di anni, perciò difficilmente paragonabili ai tempi della vita umana, quelli di origine vegetale, derivando da organismi viventi, rendono più immediata la comprensione della loro dimensione ecologica in quanto il loro ciclo di vita è paragonabile in termini di tempo a quello di una vita umana. Inoltre, diversamente dai materiali vegetali, quelli minerali si ottengono tramite processi di estrazione non rinnovabili; per esempio, il legname da costruzione ha bisogno di qualche decina d'anni dal momento in cui viene piantato l'albero a quello in cui viene tagliato, e può essere rinnovato ciclicamente. I materiali vegetali sono inoltre molto più reattivi di quelli minerali alle sollecitazioni esterne, il che ne rende più difficile la standardizzazione industriale ma allo stesso tempo conferisce loro un potenziale di adattamento alle mutevoli condizioni ambientali. Per queste ragioni, la loro inclusione nel progetto può essere non solo un modo per ridurre l'impronta ambientale di un edificio ma anche occasione per integrare complesse relazioni ecologiche nella progettazione.

L'esigenza di espandere la comprensione degli impatti materiali di un progetto emerge nel lavoro di Kiel Moe (2017) e Jane Hutton (2018), che tentano di ricostruire in tutta la loro complessità i processi innescati dalle scelte materiali di alcuni celebri progetti, ricostruendone i movimenti e le trasformazioni. Nel volume *Empire, State and Building*, Moe analizza il grattacielo newyorchese, a cui il titolo del libro si ispira, considerandolo come entità centrale che organizza i movimenti materiali di un vasto ed eterogeneo territorio (*Empire*), come punto di convergenza di enormi flussi di energia (*State*) e come esempio delle complesse responsabilità derivanti dall'atto del costruire un oggetto che instaura relazioni la cui ampiezza è generalmente sottovalutata (*Building*). Attraverso mappe e grafici l'autore fa emergere la portata geografica, energetica e politica degli impatti di un edificio simbolico, proponendo un metodo che potrebbe però essere applicato allo stesso modo a qualsiasi



Figg. 1, 2 | Khasi's Living Roots Bridges, Bangladesh (credits: Elbowmacaroni, A. Kumar, 2016).

altra architettura. Attraverso questa analisi, Moe dimostra che concepire un'opera architettonica come sistema chiuso porti a una comprensione solo parziale del suo impatto ambientale.

Nel libro *Reciprocal Landscapes*, Jane Hutton ricostruisce invece le conseguenze ambientali, sociali, economiche e politiche che l'uso di alcuni materiali per la realizzazione di noti spazi pubblici di New York ha avuto sui paesaggi in cui sono stati estratti e prodotti. L'autrice cerca di dimostrare come un progetto e la sua realizzazione materiale non siano degli atti isolati e autonomi ma al contrario mettono in moto una serie di altri processi di trasformazione ambientale di cui è necessario prendere atto. Sue sono le parole: «If we could unsee or unlearn the pervasive idea that materials are inert, exist in a single state, and are subservient to human need

alone, we could instead grasp materials' agencies and observe more clearly the flows and interdependencies between construction and the more-than-human world» (Hutton, 2018, p. 220). Questi lavori mettono in una nuova prospettiva l'atto progettuale, facendo emergere la complessità dei suoi impatti e della rete di relazioni in cui l'edificio è calato; nei paragrafi successivi si mostrerà come questa complessità possa essere meglio compresa attraverso la lente della dimensione vegetale.

**Sostenibilità e resilienza dell'uso tradizionale dei materiali vegetali: tre casi studio di architetture indigene** | Sebbene l'interesse verso l'impiego di materiali vegetali in architettura sembri essersi affermato di recente (Watson, 2019), si può trovare traccia di approcci simili nelle co-

struzioni delle culture indigene che da millenni abitano vaste aree del pianeta. Le ricerche di Sandra Piesik (2017) e di Julia Watson (2019) su Lo-TEK (Traditional Ecological Knowledge) e vernacolare, radicandosi nel pensiero di Bernard Rudofsky (1964, 1977) in *Architecture without Architects* e *The Prodigious Builder*, mettono in luce architetture che non nascono da una mediazione tra concezione ed esecuzione, ma sono piuttosto il frutto di un sapere empirico dettato da una profonda conoscenza dell'ambiente naturale e delle sue dinamiche.

Guardando ad alcune culture indigene del Sud America, Africa e Sud Est Asiatico è infatti possibile osservare come queste talvolta instaurino rapporti simbiotici con la vegetazione e il mondo naturale nel suo insieme. Per fronteggiare condizioni climatiche estreme – che potrebbero diventare, come ipotizzato dagli ultimi report dell'IPCC (2021, 2022), diffuse in vaste aree del pianeta – qui si costruiscono architetture vive, mutevoli, organiche e sistemiche attraverso l'uso di materiali vegetali.

Un esempio si rintraccia nei Living Roots Bridges della popolazione dei Khasis, in India. Insestati nelle foreste delle pianure del Bangladesh soggette a monsoni stagionali, i villaggi sono spesso isolati a causa delle piogge poiché le alluvioni rendono impossibile lo spostamento tra uno e l'altro. I Khasis hanno trasformato il carattere distruttivo dei monsoni nell'elemento di costruzione delle proprie infrastrutture: indirizzando la crescita del 'Ficus Elastica', pianta autoctona delle foreste, attorno a dei tronchi di alberi da noce secchi, i Khasis hanno sviluppato un sistema di ponti viventi che dipende dalle piogge: più forte è l'alluvione, più robuste crescono le radici del 'Ficus' che nel giro di pochi decenni arrivano a trasportare carichi pari a oltre cinquanta persone (Figg. 1, 2) garantendo una resistenza strutturale paragonabile a quella del cemento armato.

Le radici, plasmate affinché con la loro crescita riescano a connettere due parti distinte della foresta, innescano processi che prendono il nome di anastomosi, dove viticci e radici aeree si fondono naturalmente insieme e i cui nodi si rafforzano con l'abbondanza di acqua. I Living Roots Bridges sono quindi ponti, scale e infrastrutture di collegamento, architetture viventi che traggono dal processo di crescita e deperimento del materiale la propria struttura; invece che estrarlo, se ne indirizza lo sviluppo e la morfologia.

Se i Khasis hanno compreso come i materiali vegetali possano essere plasmati al fine di comporre elementi architettonici dinamici, sulle acque del lago Titikaka in Perù, gli Uros costruiscono e abitano isole artificiali in grado di mantenere in vita l'ambiente antropico e quello naturale in cui sono inserite: le Titora Reed Floating Island sono infatti infrastrutture mobili, galleggianti e viventi (Figg. 3-5). Sebbene oggi questi insediamenti siano gravemente minacciati dall'inquinamento della vicina città di Puno e subiscano la pressione economica e ambientale del turismo, per secoli gli Uros hanno abitato e costruito in stretta simbiosi con la vegetazione lacustre.

Ancorate al fondale, ma pensate per poter migrare, le isole sono interamente costruite con le canne di Titora, pianta acquatica locale rac-

colta dalle sponde del lago; la massa radicale di Totora viene tagliata a formare i 'khili', i grandi mattoni da due a sei metri che costituiscono le fondamenta delle piattaforme. Legati insieme attraverso steli di eucalipto, i mattoni immersi nell'acqua crescono nel tempo, fino a costruire un'unica base galleggiante: la bassa densità dell'apparato radicale e la sua decomposizione anaerobica rendono possibile il galleggiamento. Le isole hanno però breve durata: con rotazione trimestrale vengono cambiati i 'khili' in stato di erosione elevata, mentre le fondazioni hanno una vita di circa 25 anni. La pianta di Totora viene così impiegata per l'intero insediamento: se le radici formano le fondamenta delle isole, le canne secche sono usate per erigere muri, tetti, fabbricare barche e tessuti, foraggi per animali.

Osservando dunque il comportamento della specie vegetale, gli Uros hanno ideato un sistema infrastrutturale in cui la decomposizione del materiale consente il galleggiamento delle isole, aiuta la depurazione delle acque inquinate provenienti da Puno e garantisce nutrimento per i pesci che abitano il lago. Le Totora Reed Islands esemplificano una modalità insediativa che dialoga con la mutevolezza, precarietà e cedevolezza del costruito e innesca così relazioni metaboliche con l'ambiente circostante.

Un altro caso esemplificativo è quello dei Maasai, una popolazione semi-nomade delle zone aride del Kenya, che insediandosi stagionalmente in alcune aree della savana, genera un peculiare processo ecologico. I Maasai si muovono in piccole comunità: tre o quattro famiglie che accompagnano e curano il bestiame. I Boma, o Ekang, sono insediamenti circolari all'interno dei quali sono designate le aree per gli ani-

mali e le abitazioni delle famiglie, anch'esse a impianto circolare (Figg. 6, 7); con un diametro variabile tra i 50 e i 100 metri, i Boma tracciano un perimetro netto tra interno ed esterno e proteggono gli animali dai predatori. Il recinto si sviluppa in altezza ed è composto da tre strati: il primo è formato con la 'Leleshwa', una pianta locale resistente alle termiti; il secondo è un sistema articolato di 'Cyperus' e 'Hybiscus' raccolti durante le migrazioni e che spesso costituisce anche il nutrimento degli animali; l'ultimo strato è invece costituito da rami e spine di acacia, una specie vegetale che si sviluppa nelle aree aride e ha quindi una funzione di protezione.

Come molte delle infrastrutture indigene i Boma sono strutture minime e temporanee in grado di alterare completamente il paesaggio in cui si installano; una volta terminato il periodo di sedentarietà, l'insediamento non viene smantellato ma abbandonato: i resti dei rami di acacia e di erbe con cui è costruito stimolano la germinazione, danno vita a processi di naturale rimboscimento del deserto, facendo crescere la vegetazione dove prima vi era solo savana, e innescando così processi di contaminazione vegetale. Fino agli anni '70, la migrazione stagionale dei Maasai, con i suoi scarti, ha contribuito alla costruzione di corridoi verdi creando una circolarità temporale tra savana e radura e consentendo un'alternanza insediamento-inselvaticimento che ha permesso loro di abitare per generazioni le aree secche del Kenya.

Sebbene i casi presentati siano difficilmente esportabili in maniera diretta, in quanto fortemente legati a luoghi e culture dell'abitare specifici, questi presentano modalità costruttive e insediative millenarie e resilienti che suggeriscono princi-

pi interessanti. Se i Living Root Bridges si relazionano al materiale vegetale sfruttandone i comportamenti, le Floating Totora Islands si inseriscono in un processo ecologico e i Boma ne generano uno. Costruendo con materiali autoctoni, vegetali e per questo vivi e considerando il processo di crescita e deperimento degli stessi, il sapere indigeno dà forma ad architetture e infrastrutture dinamiche, radicalmente ecologiche, in grado di innestare una logica simbiotica tra abitante, costruttore, costruito e ambiente naturale.

### Prospettive della ricerca sui materiali vegetali

Se l'architettura vernacolare ci dimostra come sia possibile un'integrazione tra materia organica viva e spazio costruito con modalità che conservano allo stesso tempo gli ecosistemi e ne sfruttano le dinamiche per migliorare la qualità della vita e la sicurezza delle comunità, diverse ricerche esplorano oggi modalità innovative di utilizzo di materiali vegetali in architettura (Menges, Schwinn and Krieg, 2016; Kaufmann and Nerdinger, 2011). In particolare, è emerso negli ultimi anni il grande potenziale del legno come materiale strategico per la mitigazione degli impatti dell'industria edilizia sull'ambiente (Ibañez, Hutton and Moe, 2019).

Il legno è infatti caratterizzato da un processo produttivo potenzialmente rinnovabile (Taverna et alii, 2007), da favorevoli proprietà strutturali (Sposito and Scalisi, 2019) e termofisiche (Hameurya and Lundström, 2004), da flessibilità d'uso (Moe, 2019), oltre che dal costituire naturalmente una trappola per la CO<sub>2</sub>, che gli permettono, a determinate condizioni, di avere un'impronta ambientale estremamente ridotta rispetto ai materiali minerali (Park Associati and Bollinger +



Figg. 3-5 | Uros's Totora Reed Islands on Titikaka Lake, Peru (credits: F. Camilli, 2019).





Figg. 6, 7 | Maasai's Boma settlements, Kenya (credit: M. Harvey, 2016).

Grohmann, 2021). Marginalizzato dall'architettura moderna, negli ultimi decenni, grazie a innovazioni tecnologiche (Hudert and Pfeiffer, 2019), il legno è stato riscoperto come efficace alternativa ad acciaio e calcestruzzo armato. Questo processo si è spesso concretizzato nella mera sostituzione del materiale nello stesso sistema costruttivo, senza considerare le peculiarità del legno e anzi tentando di ricondurlo a una standardizzazione industriale che ne contraddice la natura disomogenea e anisotropa. Le sperimentazioni presentate qui di seguito ribaltano questa opposizione interpretando la variabilità del legno non come un ostacolo a un suo uso razionale ma come una potenzialità da sfruttare per promuovere un utilizzo più efficace.

Ad esempio, l'Institute for Computational Design and Construction (ICD) e l'Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE) presso l'Università di Stoccarda collaborano insieme alla realizzazione di piccoli padiglioni sperimentali utilizzando tecniche che mettono insieme lo sfruttamento delle proprietà intrinseche del legno con la robotizzazione del processo costruttivo. Questa strategia porta alla creazione di strutture che ottimizzano la quantità di materiale utilizzato, le prestazioni strutturali e il processo costruttivo, raggiungendo così un grande livello di efficienza. Il risultato è ottenuto attraverso differenti tecniche che consentono particolari curvature sfruttando le naturali deformazioni dovute alle variazioni di umidità interna, come nell'Urban Pavilion (Fig. 8), una torre composta di sottili lastre paraboliche, o come nel BUGA Wood Pavilion (Fig. 9), realizzato utilizzando un principio strutturale ispirato dall'esoscheletro dei ricci di mare e che ha permesso di ottenere una struttura estremamente leggera ma capace di coprire luci importanti. Questi sono solo alcuni esiti di un lavoro di ricerca il cui principale obiettivo è quello di integrare progettazione e realizzazione mettendo insieme le più avanzate tecnologie di fabbricazione con una profonda conoscenza del materiale, al fine di rendere la realizzazione di un edificio più efficiente e sostenibile.

Anche nel Campus di Hooke Park, sede periferica della Architectural Association (AA) di Londra situata nella campagna inglese, si sperimentano metodi per ottimizzare l'utilizzo del legno in

architettura. In questo luogo, studenti e ricercatori hanno la possibilità di essere in diretto contatto con tutto il processo che dalla gestione delle foreste arriva alla realizzazione di un edificio in legno: il Campus è infatti immerso in una vera e propria foresta industriale autogestita in cui vengono prodotti i materiali che vengono impiegati per i vari progetti. In particolare, la sperimentazione portata avanti a Hooke Park affronta la criticità per la quale nell'industria del legno solo una percentuale ridotta del materiale prodotto dalle foreste diventa effettivamente materiale da costruzione: nel Campus londinese, attraverso processi di scansione e mappatura digitale dei singoli rami, vengono realizzate strutture che impiegano il materiale così come viene prelevato dalla foresta, non cercando di ottenere artificialmente una forma standard ma piuttosto utilizzando al meglio la forma naturale dei singoli elementi lignei (Figg. 10, 11).

Questi sono soltanto due esempi rappresentativi di ricerche sul tema di un utilizzo efficiente del legno, e mostrano come una più approfondita comprensione della sua natura di materiale vegetale aiuti non solo a sfruttarne meglio le proprietà ma anche a usarlo in maniera ancora più efficiente e sostenibile.

### Il vegetale nel progetto per una nuova sostenibilità dell'architettura

Abbiamo visto come per raggiungere un'effettiva sostenibilità dei processi di trasformazione dello spazio sia necessaria una comprensione sistemica dell'architettura. I lavori di Moe e Hutton vanno in questa direzione e mostrano quale possa essere la scala delle dinamiche ecologiche che l'atto progettuale mette in moto e, di conseguenza, quali siano le responsabilità dell'architetto in questi processi. Le antiche tradizioni costruttive, con la loro integrazione nel più ampio sistema ecologico, sono rappresentative di questa complessità e possono essere di spunto nel rinnovare il rapporto, reciso dalla modernità industriale, tra costruito e ambiente, integrando la dimensione organica e mutevole del materiale vegetale nella definizione dello spazio costruito. Le avanzate sperimentazioni portate avanti dall'Institute for Computational Design and Construction e dall'Architectural Association sono altresì un esempio di come si

possa affrontare l'uso di materiali vegetali non cercando di attenuarne la disomogeneità ma piuttosto valorizzandola come caratteristica intrinseca, al fine di includerla nei processi costruttivi quale attivo fattore progettuale.

Questi due approcci costituiscono due modi diversi e opposti di comprendere l'ecologia dei materiali vegetali e di integrarla nell'architettura per renderla resiliente e sostenibile: da un lato le tecniche costruttive vernacolari si basano su conoscenze empiriche derivate da tradizioni ed esperienza quotidiana, dall'altro le tecniche innovative e sperimentali di uso del legno in architettura sono il frutto di una ricerca scientifica avanzata che genera conoscenze nuove. Ciò che invece hanno in comune è il fatto che in entrambi i casi la capacità di queste architetture di minimizzare il loro impatto ambientale e di adattarsi naturalmente al mutare delle condizioni esterne deriva da una profonda conoscenza dell'ecologia del materiale che permette di integrarla nel progetto. Quello che qui si sostiene è quindi che l'integrazione della dimensione vegetale nel progetto di architettura non debba risolversi in una mera questione tecnica o materiale ma debba piuttosto diventare un nuovo approccio conoscitivo e culturale nei confronti dell'ambiente costruito e della sua dimensione ecologica.

I due esempi risultano comunque complementari: le tradizioni vernacolari, sebbene non direttamente esportabili poiché legate a luoghi e culture dell'abitare specifici, presentano forme di integrazione tra architettura e natura che possono ispirare sperimentazioni fortemente attuali e avanguardistiche, in quanto utilizzano i caratteri specifici del sito, i processi di crescita, i fenomeni spontanei e accidentali (Rocca, 2006). Un esempio è rintracciabile nell'approccio di Baubotanik (Fig. 12), un recente filone di ricerca che trae proprio dallo studio dei Living Bridges dei Khasis le basi per sperimentare architetture viventi. Studiando dettagli tecnici che combinano materiali organici e non organici, la tecnica Baubotanik prevede di sfruttare la crescita e l'intelligenza costruttiva del materiale vivente al fine di comporre architetture resistenti ma non statiche (Ludwig and Hackenbracht, 2018).

Le ricerche dell'Institute for Computational Design and Construction con l'Institute of Building

ding Structures and Structural Design e dell'Architectural Association sono anch'esse di difficile applicazione diretta in quanto estremamente sperimentali; tuttavia queste costituiscono l'avanguardia di un contesto in cui la costruzione in legno si sta sviluppando in maniera sempre più sostenibile e integrata ecologicamente col contesto: ne è un esempio l'edificio Sara Kulturhus (Figg. 14, 15) recentemente completato nel nord della Svezia, un centro culturale che comprende un albergo di 20 piani, realizzato quasi esclusivamente con legno locale e integrando soluzioni energetiche a bilancio positivo, che alimentano quindi la città circostante (Wainwright, 2021). Il grattacielo, terzo più alto al mondo in struttura lignea, è quindi non solo un edificio a basso impatto ambientale ma si pone come elemento attivo di un più vasto sistema ecologico che va dalla gestione delle foreste allo spazio urbano, passando per la produzione di energia e il rafforzamento dell'offerta culturale.

Molte altre sono le modalità di integrazione di elementi vegetali in architettura che non sono stati considerati in questo contributo: materiali di origine biologica, soluzioni tecnologiche come pareti e coperture verdi o progetti che utilizzano piante come elemento architettonico e climatico sono ormai ampiamente sperimentati e diffusi (Pacheco-Torgal, Ivanov and Tsang, 2020). Tuttavia, in questa sede si è voluto proporre un approccio culturale piuttosto che tecnico, mostrando come la comprensione della dimensione ecologica dei materiali vegetali possa concretizzarsi nella sperimentazione di un'architettura che ritrovi un rapporto armonico con il suo contesto ambientale.

The integration of the organic dimension in architecture, interpreted as the assimilation of the complex ecology of organic material in the design, construction, and use of the building, is a fascinating approach that, if properly framed, can allow addressing the use of vegetal materials in architecture critically. This ancient practice is today extraordinarily relevant in the light of the environmental challenges (Attmann, 2010) that humanity is facing: the use of vegetal building materials, organic, alive, and therefore ever-changing, can be a possible strategy not only to reduce the ecological impact of architecture but also a possible response to the challenges posed by an environment made increasingly dynamic by the increment of extreme climatic events, and that calls into question the permanent nature of the built environment.

Therefore, this contribution aims to explore the use of organic materials in architecture, focusing on the complex ecological dynamics that differentiate them from inert materials, especially in the face of a climate emergency that calls for the rethinking of architectural design from a method, process, and construction perspective (Iturbe, 2019). Examples of vernacular architectures that exploit the ability of living plants to respond to changing environmental conditions, as well as recent experiments that address the organic characteristics of wood, not as a technical obstacle but as a property to be studied to promote more efficient uses of this material, will

be described. These examples show two ways to integrate ecology into design: on the one end, the empirical expertise derived from tradition; on the other, the knowledge resulting from scientific research and technical experimentation. The goal is to propose the inclusion of the organic dimension in architectural design not only as a technical or material issue but as a cultural paradigm shift in which the building, rather than as an inert artefact, is interpreted as a new part of a broader and more complex ecology.

In the first section of this paper, starting from a critique of the anthropocentric view of nature, a reflection on the need for a renewed and deeper understanding of the complex ecological dynamics where the transformation processes of space are inserted will be formulated. Here, the architectural object is interpreted not as static and passive but as part of a comprehensive system of relationships operating in space and time. The second section, through a series of examples drawn from indigenous and vernacular traditions, will highlight how the use of organic

construction materials, when exploited as active, and dynamic matter, can trigger ecological processes on a wider scale, also allowing to respond to local needs for protection against extreme climatic events. The third section will discuss contemporary research perspectives on innovative ways to use organic materials in architecture. In the conclusions, we will discuss how the use of organic materials and the attention to the process of which they are part and that they can generate can be a possible paradigm for an architecture that becomes sustainable by renewing its ecological relationship with nature.

#### Understanding materials and their impact |

The need to make space transformation processes sustainable necessarily affects the material dimension of architecture: the production cycles and the physical characteristics of the materials used for the construction of a building determine the environmental impact of its construction and use (Sposito and Scalisi, 2020). However, reducing the search for sustainability



Fig. 8 | Urbach Tower, 2019 (credit: ICD/ITKE University of Stuttgart).

Fig. 9 | Buga Wood Pavilion, 2019 (credit: ICD/ITKE University of Stuttgart).

in architecture to the simple choice of a 'sustainable' material appears to be an insufficient strategy to respond to the complexity of the problem. To understand the impact of a building, it is necessary to read it as part of an extensive system of relationships that operate not only in space but also in time, overturning the classic vision that conceives the architectural object as static and passive. The material dimension of the building is often seen as an element that bends indifferently to the formal indications of the project, at worst posing technical resistance that could always be overcome through the creative act. This secular and anthropocentric vision places man outside of nature and in conflict with it is probably the basis of the current ecological crisis.

The need to overcome this anthropocentrism emerges from the work of various scholars, both in the architectural and philosophical fields. The studies on the affective dimension that investigate the possibility that human feelings may have a genesis that is not exclusively subjective (Griffero, 2016), the new realism described by Maurizio Ferraris (2012) which reconciles the objectivity of reality with the constructive role of thought, the Actor-Network Theory that interprets reality as a system of non-hierarchical relationships (Latour, 2005; Yaneva, 2017), the Object-Oriented Ontology that overcomes Kantian transcendentalism by challenging the total unknowability of what is outside of thought (Harman, 2018), are all theorizations that share the will to overcome that positivist thought that brings the knowability of the existing back to human rationality. In different ways, these studies attempt to give back legitimacy to the reality external to man, trying to circumscribe a field of objectivity that is not subject to relativistic inter-

pretations: the human point of view is not excluded; however, it is no longer interpreted as an ordering principle but rather as an element of a non-hierarchical network of relationships.

A similar paradigm shift appears necessary also in the context of the so-called ecological transition: pursuing the reduction of material impacts without however questioning the paradigm that sees nature as a resource to be exploited, as a different, non-human dimension, to be preserved almost as a pure commodity, resource or inert material (Morton, 2016) appears to be a way of facing the problem without questioning the development model that generated it. The need for a radical rethinking of the paradigm that governs the relationship between man and nature was effectively represented in issue 47 of the magazine *Log*, edited by Elisa Iturbe, in which she describes the 'carbon form' as the result of industrial production processes based on the combustion of fossil energy sources. According to Iturbe (2019, p. 11), «[...] energy must be understood beyond its technical capacity, viewed instead as a political and cultural force with inevitable spatial repercussions». This implies that a new and sustainable way of relating to the production and consumption of energy must go hand in hand with a new way of producing space.

In this sense, the introduction of an organic dimension in the architectural project can be an opportunity to rethink the approach to the material dimension of the building: acknowledging the complex ecology of which the building material is part and investigating the implications of seeking a symbiotic dialogue between anthropic and natural, architecture and environment, not limiting to technological innovations that use the prefix 'bio-' but questioning how to design by including the uncertain dynamics of the organic dimension, it can open up renewal scenarios for architectural methods and processes.

While mineral materials, resulting from geological processes lasting hundreds of millions of years, are hardly comparable to the times of human life, those of vegetable origin, deriving from living organisms, facilitate the understanding of their ecological dimension, having a life cycle that is comparable in terms of time to the human one. Moreover, mineral materials are only obtainable through non-renewable extraction processes while organic ones can be renewable. For example, construction timber needs a few decades from when the tree is planted to when it is cut and can be periodically replanted. Organic materials are also much more reactive than minerals to external stress, which makes their industrial standardization more complex but at the same time gives them the potential to adapt to changing environmental conditions. For these reasons, their inclusion in the project can be not only a way to reduce the environmental footprint of a building but also an opportunity to integrate complex ecological relationships into the design.

The need to expand the understanding of the material impacts of a project emerges in the work of Kiel Moe (2017) and Jane Hutton (2018), who attempt to reconstruct in all their complexity the processes triggered by the material choices of some notable projects, tracing their movements and transformations. In the volume *Empire, State and Building*, Moe analyses the New

York skyscraper that inspires the title of the book, considering it as a central entity that organizes the material movements of a vast and heterogeneous territory (*Empire*), as a point of convergence of enormous flows of energy (*State*), and as an example of the complex responsibilities deriving from the act of building an object that establishes relationships whose amplitude is generally underestimated (*Building*). Through maps and graphics, the author highlights the geographical, energetic, and political impact of a symbolic building, proposing a method that could be applied similarly to any other architecture. Through this analysis, Moe demonstrates that conceiving an architectural work as a closed system leads to only a partial understanding of its environmental impact.

In the book *Reciprocal Landscapes*, Jane Hutton instead reconstructs the environmental, social, economic and political consequences that the use of certain materials for the construction of well-known public spaces in New York had on the landscapes in which they were extracted and produced. The author tries to demonstrate how a project and its material realization are not isolated and autonomous acts but, on the contrary, they trigger many other processes of environmental transformation that need to be acknowledged. In her words: «If we could unsee or unlearn the pervasive idea that materials are inert, exist in a single state, and are subservient to human need alone, we could instead grasp materials' agencies and observe more clearly the flows and interdependencies between construction and the more-than-human world» (Hutton, 2018, p. 220). These works put the design act into a new perspective, bringing out the complexity of its impacts and the network of relationships into which the building is situated. The following paragraphs will show how this complexity can be better understood through the lens of the organic dimension.

### Sustainability and resilience of the traditional use of organic materials: three case studies of indigenous architecture

Although the interest in using organic materials in architecture seems to have been raised recently (Watson, 2019), traces of similar approaches can be found in the structures of indigenous cultures that have inhabited vast areas of the planet for millennia. Sandra Piesik's (2017) and Julia Watson's (2019) research on Lo-TEK (Traditional Ecological Knowledge) and vernacular, rooted in the thinking of Bernard Rudofsky (1964, 1977) in *Architecture without Architects* and *The Prodigious Builder*, highlights architectures that do not arise from mediation between conception and execution, but rather result from an empirical knowledge dictated by a deep understanding of the natural environment and its dynamics.

Looking at some indigenous cultures of South America, Africa, and Southeast Asia, it is possible to observe how they sometimes establish symbiotic relationships with vegetation and the natural world as a whole. To cope with extreme climatic conditions – which could become, as hypothesized by the latest reports of the IPCC (2021, 2022), widespread in vast areas of the planet – here, living, changing, organic and systemic architectures are built with organic materials.



**Fig. 10** | The 'Big Shed' Assembly Workshop (2012) by AA Design & Make with Mitchell Taylor Workshop and Atelier One (credit: V. Bennett, 2012).

**Fig. 11** | The Hooke Park Prototype House (1985) demonstrated the use of roundwood timber thinnings in tension.

An example can be found in the Living Roots Bridges of the Khasis people of India. Settled in the forests of the Bangladesh plains subjected to seasonal monsoons, the villages are often isolated by rainfall, as floods make it impossible to move between them. The Khasis have thus turned the destructive nature of the monsoons into the building block of their infrastructures. By directing the growth of the 'Ficus Elastica', an indigenous forest plant, around the trunks of dry walnut trees, the Khasis have developed a system of living bridges that depend on the rains: the stronger the flood, the stronger the roots of the 'Ficus' grow, which, in a few decades, can carry loads equal to over fifty people (Fig. 1, 2), guaranteeing a structural resistance comparable to that of reinforced concrete.

The roots, shaped to connect two distinct parts of the forest with their growth, trigger processes called anastomosis, where tendrils and aerial roots naturally merge and whose nodes strengthen with the abundance of water. Living Roots Bridges are, therefore, bridges, staircases, and connecting infrastructures, living architectures that derive their structure from the process of growth and decay of the material; instead of being extracted, its development and morphology are directed.

Whether the Khasis understood how organic materials could be shaped to compose dynamic architectural elements, on the waters of Lake Titikaka in Peru, the Uros build and inhabit artificial islands capable of keeping alive the natural environment that they anthropized. Totora Reed Floating Islands are, in fact, mobile, floating, and living infrastructures (Fig. 3-5). Although today these settlements are severely threatened by pollution from the nearby city of Puno and suffer from the economic and environmental pressure of tourism, the Uros have lived and built in close symbiosis with the lake vegetation for centuries. Anchored to the seabed but designed to migrate, the islands are constructed entirely of Totora reeds, a local aquatic plant harvested from the shores of the lake. The root mass of Totora is cut to form the 'khili,' the large two- to six-foot bricks that constitute the platforms' foundations. Tied together through eucalyptus stems, the bricks immersed in the water grow over time until they build a single floating base: the low density of the root system and its anaerobic decomposition make it possible to float. However, the islands are short-lived: with quarterly rotation, the 'khili' in a state of high erosion are changed, while the foundations have a life of about 25 years. The plant of Totora is thus used for the entire settlement: if the roots form the foundations of the islands, the dry canes are used to erect walls, roofs, manufacture boats, textiles, and fodder for animals.

Observing the behaviour of the plant species, the Uros devised an infrastructural system in which the decomposition of the material allows the islands to float, helps the purification of polluted water coming from Puno, and guarantees food for the fish that inhabit the lake. Totora Reed Islands exemplify a settlement that dialogues with the changeability, precariousness, and yielding of the built environment and triggers metabolic relationships with the surrounding environment.



Fig. 12 | Baubotanik Willow Tower (credit: F. Ludwig, 2021).

Another exemplifying case is that of the Maasai, a semi-nomadic population of the arid zones of Kenya, who seasonally settle in some areas of the savannah, generating a peculiar ecological process. The Maasai move into small communities: three or four families that take care of the livestock. The Boma, or Ekang, are circular settlements within which are designated areas for animals and family dwellings, in a circular layout too (Fig. 6, 7). Varying between 50 and 100 meters in diameter, the Boma draw a clear perimeter between inside and outside, protecting thus animals from predators. The fence grows in height, and it is composed of three layers. The first, close to the ground, is formed with 'Leleshwa', a local plant resistant to termites; the second is an articulated system of 'Cyperus' and 'Hybiscus' collected during migrations which often constitutes the animals' fodder; the third is made of branches and thorns of acacia, a plant that grows in arid areas, and has a protective function.

Like many indigenous infrastructures, the Boma are minimal and ephemeral structures that can alter the landscape they temporarily graft. Once the period of sedentariness is over, the settlement is not dismantled but abandoned: the remains of acacia branches and grasses through which it is built stimulate germination, start processes of plant contamination, and thus start processes of natural reforestation of the desert, making vegetation grow where before there was only savannah. Until the 1970s, the seasonal migration of the Maasai, with their waste, contributed to the construction of green corridors, creating a temporal circularity between savannah and clearing, an alternation between settlement and wilderness that allowed them to inhabit the dry areas of Kenya for generations.

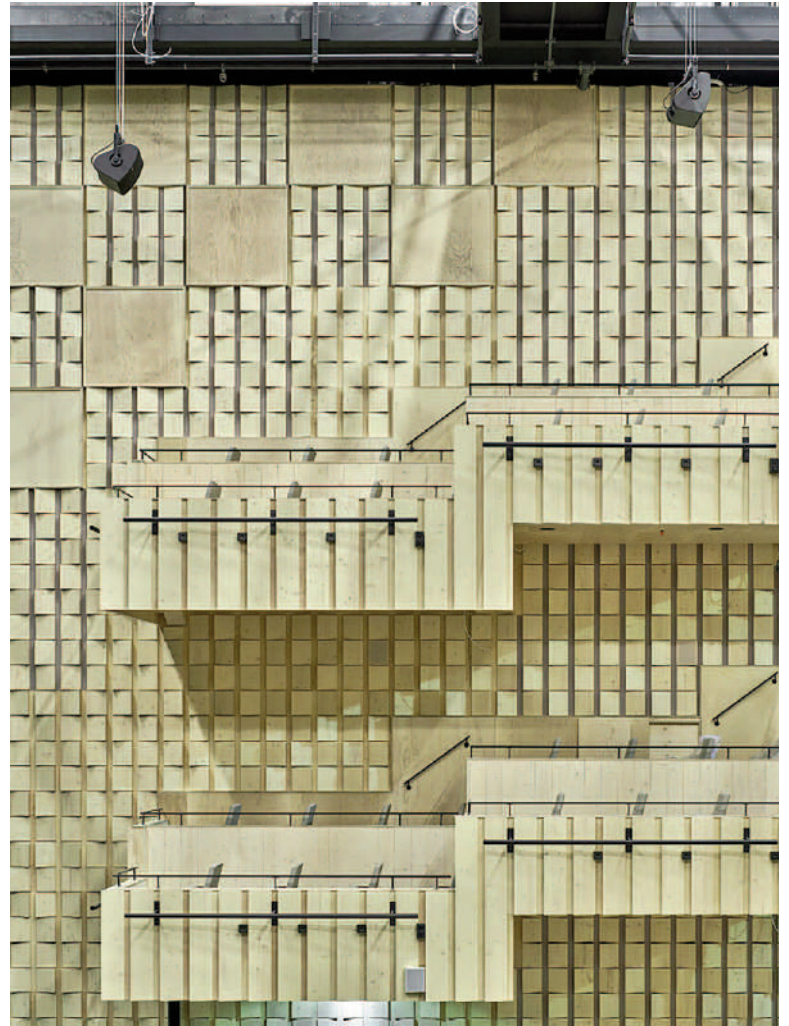
Although the cases presented are difficult to export directly, as they are strongly rooted in specific places, and dwelling traditions, they present millennia-old resilient modes of construction and

settlement that suggest interesting principles. If Living Root Bridges exploit the behaviours of organic construction materials, Floating Totora Islands fit into an ecological process, and Boma generates one. By building with site-specific, organic, and therefore living materials, and considering their process of growth and decay, the indigenous knowledge gives shape to dynamic architectures and infrastructures, radically ecological, able to engage a symbiotic logic between inhabitant, builder, built and natural environment.

#### Prospects for research on organic materials

| If vernacular architecture shows us how integration between living organic matter and built space is possible by exploiting and, at the same time, preserving the ecosystems' dynamics to improve the quality of life and safety of communities, today several research projects explore innovative ways of using organic materials in architecture (Menges, Schwinn and Krieg, 2016; Kaufmann and Nerdinger, 2011). In particular, the great potential of wood as a strategic material for mitigating the impacts of the construction industry on the environment has emerged in recent years (Ibañez, Hutton and Moe, 2019).

In fact, wood is characterized by a potentially renewable production process (Taverna et alii, 2007), favourable structural (Sposito and Scalisi, 2019) and thermophysical properties (Hameurya and Lundström, 2004), flexibility of use (Moe, 2019), as well as naturally constituting a trap for CO<sub>2</sub>, which allow it, under certain conditions, to have a significantly reduced environmental footprint compared to mineral materials (Park Associati and Bollinger + Grohmann, 2021). Marginalized by modern architecture, in recent decades, thanks to technological innovations (Hudert and Pfeiffer, 2019), wood has been rediscovered as an effective alternative to steel and reinforced concrete. This process has often resulted in the mere replacement of the material



**Figg. 13, 14** | Sara Kulturhu: External view; Detail of the main theatre (credits: Åke E:son Lindman, 2021).

in the same construction system without considering the peculiarities of the wood and, indeed, trying to bring it back to an industrial standardization that contradicts its inhomogeneous and anisotropic nature. The experiments presented below overturn this opposition by interpreting the variability of wood not as an obstacle to its rational use but as a potential to be exploited to promote more effective use.

For example, the Institute for Computational Design and Construction (ICD) and the Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE) of the University of Stuttgart create small experimental pavilions using techniques that combine the exploitation of the intrinsic properties of wood with the robotization of the construction process. This strategy leads to the creation of structures that optimize the amount of material used, the structural performance, and the construction process, thus achieving great efficiency. The result is obtained through different techniques that allow particular curvatures by exploiting the natural deformations due to variations in internal humidity, as in the Urbach Pavilion (Fig. 8), a tower made up of thin parabolic plates, or as in the BUGA Wood Pavilion (Fig. 9), created using a structural principle inspired by the exoskeleton of sea urchins and which made it possible to obtain an extremely light structure but capable of covering important lights. These are just some of the results of a research work whose main objective is to integrate design and construction by combining the most advanced

manufacturing technologies with a deep knowledge of the material to make the construction of a building more efficient and sustainable.

Methods to optimize the use of wood in architecture are also being tested on the Hooke Park Campus, the woodland campus of the Architectural Association (AA) of London, located in the English countryside. In this place, students and researchers can be in direct contact with the whole process, from forest management to the construction of wooden buildings. The Campus is, in fact, immersed in a real self-managed industrial forest in which are produced the materials used for the various projects. In particular, the experimentation carried out in Hooke Park tackles the criticality for which in the wood industry, only a small percentage of the material produced by the forests actually becomes building material: in the Campus, through digital scanning and mapping processes of the individual branches, structures are made that use the material as it is taken from the forest, not trying to artificially obtain a standard shape but rather making the most of the natural shape of the individual wooden elements (Figg. 10, 11).

These are just two representative examples of research on the topic of efficient use of wood, but they show how a deeper understanding of its nature as an organic material helps not only to exploit its properties better but also to use it even more efficiently and sustainably.

**The organic in the project for a new sustain-**

**ability of architecture** | We have seen how a systemic understanding of architecture is required to achieve effective sustainability of the transformation processes of space. The works of Moe and Hutton go in this direction and show what the scale of ecological dynamics that the design act sets in motion can be and, consequently, what the responsibilities of the architect are in these processes. The ancient construction traditions, with their integration into a wider ecological system, are representative of this complexity and can be a starting point in renewing the relationship, broken by industrial modernity, between the building and the environment, integrating the organic and changing dimensions of organic material into the definition of the built space. The advanced experiments carried out by the Institute for Computational Design and Construction with the Institute of Building Structures and Structural Design, and the Architectural Association are also an example of how the use of organic materials can be addressed by not trying to mitigate their inhomogeneity but rather by enhancing it as an intrinsic characteristic to be included in the building process as an active design factor.

These two approaches constitute two different and opposite ways of understanding the ecology of organic materials and integrating it into architecture to make it resilient and sustainable. On the one hand, vernacular construction techniques are based on empirical knowledge derived from traditions and daily experience. On

the other hand, innovative and experimental techniques for using wood in architecture result from advanced scientific research that generates new knowledge. Instead, what they have in common is that, in both cases, the ability of these architectures to minimize their environmental impact and naturally adapt to changing external conditions derives from a deep knowledge of the ecology of the material that allows it to be integrated into the project. Therefore, what is argued here is that the integration of the organic dimension in the architectural project should not be resolved in a mere technical or material question but should rather become a new cognitive and cultural approach to the built environment and its ecological dimension.

These two examples are, however, complementary: the vernacular traditions, although not directly applicable to the contemporary building as they are rooted in specific places and dwelling traditions, present forms of integration between architecture and nature that can inspire new, avant-garde experiments, as they use site-specific characters, growth processes, spontaneous and accidental phenomena (Rocca, 2006). An example can be found in the approach of Baubotanik (Fig. 12), a recent line of research that draws the basis for experimenting a living architecture from the study of the Living Bridges of

the Khasis. By studying technical details that combine organic and non-organic materials, the Baubotanik technique envisages exploiting the living materials' growth and constructive intelligence to compose resistant but not static architectures (Ludwig and Hackenbracht, 2018).

The research of ICD-ITKE and AA are probably not directly applicable to the industry as they are highly experimental. However, they constitute the vanguard of a context in which wooden construction is developing in an increasingly sustainable and ecologically integrated way: an example of this is the Sara Kulturhus building (Fig. 13, 14) recently completed in northern Sweden, a cultural centre that includes a 20-storey hotel, built almost exclusively with local wood and integrating energy solutions with a positive balance for the surrounding city (Wainwright, 2021). The skyscraper, the third tallest in the world with a wooden structure, is therefore not only a building with a low environmental impact but is an active element of a larger ecological system ranging from forest management to urban space, energy production and the strengthening of the city's cultural offer.

There are many other ways of integrating organic elements in architecture that have not been considered in this contribution: materials of biological origin, technological solutions such as

green walls and roofs, or projects that use plants as architectural and climatic elements are now widely tested and widespread (Pacheco-Torgal, Ivanov and Tsang, 2020). However, here we wanted to propose a cultural rather than a technical approach, showing how understanding the ecological dimension of organic materials can generate experiments for a harmonious relationship between architecture and its environmental context.

## References

- Attmann, O. (2010), *Green architecture – Advanced technologies and materials*, McGraw-Hill, New York.
- Ferraris, M. (2012), *Manifesto del nuovo realismo*, Laterza, Bari.
- Griffero, T. (2016), *Il pensiero dei sensi – Atmosfere ed estetica patica*, Guerini Scientifica, Milano.
- Hameurya, S. and Lundström, T. (2004), “Contribution of indoor exposed massive wood to a good indoor climate – In situ measurement campaign”, in *Building and Environment*, n. 36, issue 3, pp. 281-292. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2003.12.003 [Accessed 11 April 2022].
- Harman, G. (2018), *Object-oriented Ontology – A new theory of everything*, Pelican, London.
- Hudert, M. and Pfeiffer, S. (eds) (2019), *Rethinking Wood – Future dimensions of timber assembly*, Birkhäuser, Berlin. [Online] Available at: doi.org/10.1515/9783035617061 [Accessed 11 April 2022].
- Hutton, J. (2018), *Reciprocal landscapes – Tracing materials between New York City and beyond*, Routledge, London.
- Ibañez, D., Hutton, J. E. and Moe, K. (eds) (2019), *Wood Urbanism – From the molecular to the territorial*, Actar Publishers.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022), *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability – Summary for Policymakers*, Switzerland. [Online] Available at: reliefweb.int/report/world/climate-change-2022-impacts-adaptation-and-vulnerability [Accessed 13 April 2022].
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2021), *Sixth Assessment Report*, Switzerland. [Online] Available at: ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/12/IPCC-52\_decisions-adopted-by-the-Panel.pdf [Accessed 13 April 2022].
- Iturbe, E. (2019), “Architecture and the death of carbon modernity”, in *Log*, n. 47, pp. 10-23.
- Kaufmann, H. and Nerdinger, W. (eds) (2011), *Building with timber – Paths into the future*, Prestel, Munich-London-New York.
- Latour, B. (2005), *Reassembling the Social – An Introduction to Actor-Network-Theory*, Oxford University Press, Oxford.
- Ludwig, F. and Hackenbracht, C. (2018), “Baubotanik Tower”, in Myers, W. (ed.), *BioDesign – Nature, Science, Creativity*, Thames&Hudson, New York, pp. 36-37.
- Menges, A., Schwinn, T. and Krieg, O. D. (2016), *Advancing wood architecture – A computational approach*, Routledge, London.
- Moe, K. (2019), “Think Like the Forest – Maximizing the Environmental Impact and Energetics of Building Timber”, in Hudert, M. and Pfeiffer, S. (eds), *Rethinking Wood*, Birkhäuser, Basel, pp. 20-29.
- Moe, K. (2017), *Empire, State & Building*, Actar, Barcelona-New York.
- Morton, T. (2016), *Dark Ecology – For a Logic of Future Coexistence*, Columbia University Press, New York.
- Pacheco-Torgal, F., Ivanov, V. and Tsang, D. C. W. (2020), *Bio-based materials and biotechnologies for eco-efficient construction*, Woodhead Publishing, Duxford.
- Park Associati and Bollinger + Grohmann (2021), *IN-LEGNO – Cambiare prospettiva per costruire il futuro*, LetteraVentidue, Siracusa.
- Piesik, S. (ed.) (2017), *Habitat – Vernacular architecture for a changing planet*, Thames & Hudson, London.
- Rocca, A. (2006), *Architettura Naturale*, 22publishing, Milano.
- Rudofsky, B. (1977), *The Prodigious Builders – Notes toward a natural history of architecture with special regard to those species that are traditionally neglected or downright ignored*, Harcourt Brace Jovanovich, New York. [Online] Available at: archive.org/details/prodigiousbuilde00rudo/page/n1/mode/2up [Accessed 13 April 2022].
- Rudofsky, B. (1964), *Architecture without Architects – A short introduction to non-pedigreed architecture*, Doubleday, New York. [Online] Available at: moma.org/doc-uments/moma\_catalogue\_3459\_300062280.pdf [Accessed 13 April 2022].
- Sposito, C. and Scalisi, F. (2020), “Ambiente costruito e sostenibilità – Materiali riciclati e Design for Disassembly tra ricerca e buone pratiche | Built environment and sustainability – Recycled materials and Design for Disassembly between research and good practices”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 8, pp. 106-117. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/8102020 [Accessed 13 April 2022].
- Sposito, C. and Scalisi, F. (2019), “High-rise timber architecture – An opportunity for the sustainability of the built environment”, in De Giovanni, G. and Scalisi, F. (eds), *PRO-Innovation – Process Production Product*, Palermo University Press, Palermo, pp. 93-122. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/8102020 [Accessed 13 April 2022].
- Taverna, R., Hofer, P., Werner, F., Kaufmann, E. and Thürig, E. (2007), *The CO<sub>2</sub> Effects of the Swiss Forestry and Timber Industry – Scenarios of future potential for climate-change mitigation*, Federal Office for the Environment, Bern.
- Wainwright, O. (2021), “Isn't it good, Swedish plywood – The miraculous eco-town with a 20-storey wooden skyscraper”, in *The Guardian*, 14/10/2021. [Online] Available at: theguardian.com/artanddesign/2021/oct/14/skelleftea-swedish-plywood-eco-town-20-storey-wooden-skyscraper-worlds-tallest [Accessed 13 April 2022].
- Watson, J. (2019), *Lo-TEK – Design by Radical Indigenism*, Taschen, Colonia.
- Yaneva, A. (2017), *Five Ways of Making Architecture Political – An Introduction to the Politics of Design Practice*, Bloomsbury, London.

## GRATTACIELI E VEGETAZIONE

Una simbiosi inedita

## SKYSCRAPERS AND GREENERY

An unprecedented symbiosis

Simona Talenti, Annarita Teodosio

### ABSTRACT

Un adeguato uso delle risorse naturali, affiancato alla scelta di materiali innovativi e alla riduzione del consumo di fonti non rinnovabili, sempre più spesso contribuisce a rendere i grattacieli sostenibili. Anche in Italia si è diffusa la consuetudine di inserire elementi vegetali negli involucri, ai piedi, ai fianchi o all'interno di edifici alti. L'uso della vegetazione non riguarda solo le nuove realizzazioni, ma pure le riqualificazioni di torri esistenti, offrendo talvolta una possibilità di riscatto persino a manufatti che non presentano originali caratteri di grande pregio. Il greenery applicato ai grattacieli italiani però dovrebbe sollecitare interrogativi sulla effettiva sostenibilità ambientale, economica e sociale di queste soluzioni progettuali, che talvolta sembrano rispondere a mere istanze estetiche e ornamentali o a esigenze di marketing. Partendo dall'analisi di alcuni grattacieli italiani caratterizzati dalla presenza del verde, questo studio si propone di sottolineare le potenzialità e l'importanza dell'uso della vegetazione in una tipologia costruttiva, come quella dell'edificio alto, storicamente in contrapposizione con la natura, innescando una riflessione su criteri di intervento suscettibili di applicazioni anche a scale più vaste e differenziate.

An appropriate use of natural resources, combined with the choice of innovative materials and the reduction of the consumption of non-renewable sources, increasingly contribute to the sustainability of skyscrapers. Italy has also witnessed the growing custom of including green elements in tall buildings, in the envelopes, at the bases, sides or interiors. The use of vegetation not only concerns new constructions, but also the redevelopment of existing towers, sometimes offering a chance even to buildings that originally lack significant value. Greenery applied to Italian skyscrapers, however, should raise questions about the actual environmental, economic and social sustainability of these design solutions, which sometimes seem to respond to mere aesthetic and ornamental requirements or marketing demands. Through the analysis of certain Italian skyscrapers characterized by the presence of greenery, this study aims to underline the potential and the importance of the use of vegetation in the tall building, an architectural type historically in contrast with natural elements, triggering a reflection on intervention criteria susceptible of application also at wider and more differentiated scales.

### KEYWORDS

grattacieli italiani, sostenibilità, vegetazione, parete verde, tetto giardino

Italian skyscrapers, sustainability, greenery, green wall, roof garden

**Simona Talenti**, Architect and PhD, is an Associate Professor of History of Architecture at the Department of Civil Engineering, University of Salerno (Italy). She carries out research activities mainly in the field of modern and contemporary architectural history and has participated in numerous international conferences. Mob. +39 339/64.02.386 | E-mail: stalenti@unisa.it

**Annarita Teodosio**, Architect and PhD, is a Research Fellow and Adjunct Professor of History of Architecture at the Department of Civil Engineering, University of Salerno (Italy). She carries out research activities in the field of history of architecture and urbanism and has been responsible for the organization of several exhibitions, conferences and seminars. Mob. +39 328/17.28.022 | E-mail: ateodosio@unisa.it

I giardini pensili di Babilonia, la torre trecentesca dei Giunigi a Lucca, le terrazze piantumate di Henri Sauvage, il verde sospeso nelle case a gradinate di Sant'Elia o nei toît terrasses di Le Corbusier, esemplificano la costante tensione verso una sinergia tra costruito e natura che ha scandito la storia dell'architettura fin dall'antichità. Se nel passato la vegetazione rivestiva le coperture essenzialmente con l'obiettivo di mitigare il microclima, a partire dal XX secolo essa intende anche sopperire parzialmente alla carenza di parchi urbani. Inoltre la consuetudine di inserire il greenery si è estesa progressivamente agli involucri, agli interni e agli spazi circostanti gli edifici (Bellini and Mocchi, 2017). Negli ultimi decenni questa tendenza riguarda anche le costruzioni che si sviluppano in altezza, di nuova realizzazione o oggetto di retrofitting. Sui grattacieli italiani tetti giardino, pareti vegetali e orti verticali sono diventati sempre più diffusi, testimoniando la ricerca di una sostenibilità non più legata esclusivamente all'utilizzo di materiali innovativi<sup>1</sup> o alla riduzione del consumo di fonti non rinnovabili, quanto piuttosto all'introduzione di risorse naturali, come il verde, che potrebbe costituire un'efficace strategia per ridurre l'inquinamento e migliorare il microclima oltre che l'aspetto estetico generale dell'intervento (Al-Kodmany, 2015; Pomeroy, 2013).

Nonostante l'attualità del tema e il crescente numero delle esperienze, ancora sporadiche sono le riflessioni teoriche. Difatti la letteratura che affronta l'interrelazione tra natura e architettura sembra focalizzarsi solo raramente sull'inverdimento degli edifici alti. Il saggio *Grattacieli e Giardini dello storico del paesaggio Michael Jakob* (2020) costituisce una delle rare eccezioni includendo nella panoramica internazionale sul verde nell'habitat urbano anche il Bosco Verticale di Boeri. Altri testi offrono ulteriori spunti di lettura e interpretazione: per Jason Pomeroy (2013), autore di *The Skycourt and Skygarden – Greening the Urban Habitat*, il regno urbano verticale creerebbe inediti spazi sociali nel cielo, mentre l'urbanista britannico Alan Simson (2020) elabora una visione utopica, la cosiddetta *Treetopia*, in cui gli alberi si dovrebbero appropriare dello scenario metropolitano conquistando spazi privati, pubblici ma anche gli stessi edifici residenziali.

Il presente studio intende contribuire a colmare queste lacune attraverso l'analisi puntuale di alcuni grattacieli italiani caratterizzati dall'elemento verde. L'originale punto di vista consente di sottolineare le potenzialità e l'importanza dell'uso della vegetazione anche in una tipologia costruttiva, come quella dell'edificio alto, storicamente in contrapposizione con la naturalità. Inoltre, i punti di forza e criticità, emersi dai diversi interventi sui grattacieli, potrebbero rivelarsi suscettibili di applicazioni a scale più vaste e differenziate.

**Involucri verdi responsabili** | A partire dalla fine del secolo scorso, la consuetudine di ricoprire le facciate degli edifici con la vegetazione ritorna in auge per assumere un crescente ruolo strategico nel contrastare il cambiamento climatico e tutelare le biodiversità (Comino, Molari and Dominici, 2021). Dopo alcune pionieristiche sperimentazioni degli anni Sessanta, certamente prive di una consapevolezza sul tema della sosteni-

nibilità, e l'esperienza del *Planeta* di Barcellona, una delle prime foreste urbane d'Europa realizzata nel 1978 dagli architetti Josep Maria Fargas ed Enric Tous e dal botanico Everest Muné (Sarfatti, 2020), l'invenzione negli anni Ottanta del mur végétal a firma del ricercatore francese Patrick Blanc (2008), segna una tappa importante nel percorso di naturalizzazione del costruito e modifica le modalità tecnologiche ed espressive dell'integrazione tra progettazione architettonica e verde. Come sostiene il creativo paesaggista parigino, questa soluzione fornisce l'opportunità di inserire inaspettate estensioni vegetali anche in contesti molto densi, dove l'intervento sull'orizzontalità, generalmente già congestionata, sarebbe altrimenti difficilmente concretizzabile (Aimar, 2016).

Negli ultimi anni, l'uso del verde verticale ha trovato una sempre più larga applicazione anche nel campo dei tall building, una tipologia architettonica ormai matura, quindi suscettibile di ulteriori declinazioni e pronta ad ammantarsi di nuove valenze anche ambientali (Jakob, 2020). Pertanto, alte pareti vegetali vanno imponendosi come valida alternativa ai più tradizionali involucri trasparenti di ispirazione americana, offrendo rinnovate percezioni degli skyline. Ma, a prescindere dagli innegabili significati estetici, queste nuove foreste metropolitane intendono innanzitutto assumere una posizione rilevante nell'ambito dell'ecologia urbana, contribuendo così anche a ricomporre l'atavica discrasia tra grattacieli e sostenibilità. Fra i tanti interventi, già realizzati o in corso, vanno ad esempio in questa direzione i progetti di Blanc in collaborazione con Jean Nouvel, come le torri del *One Central Park* (2010) di Sydney, che vantano il più grande muro vegetale al mondo e quelle de *Le Nouvel KLCC* (2016) di Kuala Lumpur, con ampie facciate che integrano vetro e vegetazione<sup>2</sup>, o il *Bosco Verticale* (2009-2014) di Stefano Boeri a Milano, una «[...] nuova idea di grattacielo, in cui alberi ed umani convivono» (Menaldo, 2014), esempio iconico della simbiosi tra natura e artificio (Bozzola, 2011).

L'enorme quantità di calore generata dalla riflessione della luce solare sui rivestimenti in vetro, ceramica o metallo dei grattacieli di Abu Dhabi, visitata da Boeri nel 2007, ha probabilmente suggerito la soluzione adottata per i due celebri grattacieli milanesi caratterizzati invece da fronti vegetali (Fig. 1). I grandi terrazzi sfalsati a sbalzo ospitano oltre 100 specie arboree (800 alberi, 4.500 arbusti e circa 15.000 piante perenni o tappezzanti), opportunamente collocate in base all'esposizione dell'edificio (sempreverdi a sud, spoglianti a nord e ovest, con tonalità tenui a est), che rendono variabili e mutevoli i prospetti a seconda della stagione e del clima (Giacomella and Valagussa, 2015). L'equivalente di 30.000 mq di bosco e sottobosco è così concentrato su una superficie urbana di 3.000 mq per conseguire il raggiungimento di benefici ambientali (isolamento acustico e termico, filtraggio delle polveri sottili, incentivo alle biodiversità) e persino psicologici su chi ne fruisce, anche solo visivamente.

La scelta delle essenze, sapientemente selezionate dall'agronomo paesaggista Laura Gatti e pre-coltivate in una speciale nursery per abitarle a vivere in condizioni simili a quelle finali,

concilia esigenze botaniche e ingegneristiche: resistenza al vento (testata in un laboratorio di Miami) e ai parassiti, capacità di fissare micro polveri, possibilità di ancoraggio in sicurezza (Belleiri, 2012). La manutenzione della copiosa vegetazione ha reso inevitabile una gestione centralizzata: innovativi sistemi di monitoraggio dell'eco struttura permettono di rispondere ai reali fabbisogni idrici, differenziati in funzione dell'esposizione e delle altezze, mentre complessi impianti di irrigazione sono alimentati da acque riciclate piovane e grigie. Queste torri, «[...] rivestite non di vetro, ma di foglie, di piante, di arbusti, di alberi, di vita» (Menaldo, 2014), hanno ottenuto numerosi riconoscimenti anche in ambito internazionale, come l'*International Highrise Award* 2014, assegnato dal Museo dell'Architettura di Francoforte (DAM) al 'grattacielo più bello e innovativo del mondo' e nel 2019 sono state inserite dal CTBUH tra i 50 tall building più iconici degli ultimi 50 anni.

L'emblematica esperienza di Porta Nuova avvia una stagione creativa in cui l'interazione tra grattacieli e natura sembra diventare la cifra stilistica ineludibile di tutti gli interventi di Boeri. Come vincitore di un concorso internazionale bandito nel 2019 per la riqualificazione del Pirellino (1966), che lo vede accanto allo studio newyorkese Diller, Scofidio+Renfro – già ideatore dell'*High-Line* di New York – propone di affiancare agli edifici preesistenti una nuova Torre Botanica con una facciata ricoperta da 1.700 mq di vegetazione e pannelli fotovoltaici collocati nei parapetti dei balconi (Milan, 2021): un polmone verde, variabile nei colori a seconda delle stagioni e le fioriture, in grado annualmente di produrre 9 tonnellate di ossigeno e assorbirne 14 di CO<sub>2</sub> oltre che di provvedere al 65% del proprio fabbisogno energetico (Fig. 2).

Il progetto ripropone il concept del suo antesignano ma, come chiarisce lo stesso Architetto, «[...] se il Bosco verticale è un tentativo a tutti gli effetti di dimostrare che è possibile portare una popolazione di alberi, un vero e proprio bosco nel cielo della città, nella nuova torre abbiamo lavorato con un concetto analogo dal punto di vista della presenza del verde, ma ragionando più sulla tradizione del giardino all'italiana, sulla realizzazione di una presenza della natura vegetale più razionale, più legata al concetto di un orto botanico» (Barletta, 2021). L'involucro verde modella e caratterizza anche proposte più recenti. In un'area dismessa a ridosso del Naviglio Grande di Milano sorgerà entro il 2024 il *Bosco Navigli*, un grande edificio residenziale che ripropone gli ormai collaudati giardini pensili e terrazze (Gemme, 2021), mentre a Monza, tre nuovi boschi verticali, circondati da un parco urbano orizzontale di 4mila metri quadri (Fig. 3), trasformeranno un'ex area produttiva (Rossin, 2019).

Ma l'esperienza di Boeri rappresenta certamente un modello anche per altri progettisti che si cimentano nella costruzione di nuove torri milanesi – come quella del *Klima Hotel* (2012-14), con un alto giardino verticale (Ghiacci, 2013) o l'*Hotel Viu* (2014-17), in cui la vegetazione diventa un elemento compositivo che avvolge e caratterizza le testate (Scalco, 2017) – o nei retrofitting di quelle esistenti. Si pensi ad esempio alla proposta non realizzata elaborata dalla J.M. Schivo & Associati s.r.l. nel 2012 per la riqualifi-





**Fig. 1** | Bosco Verticale in Milan, designed by Stefano Boeri, 2009 (credit: the Authors).

**Fig. 2** | Pirellino redevelopment project in Milan, designed by Stefano Boeri with Diller, Scofidio+Renfro, 2019 (source: niiprogetti.it, 2022).

cazione del grattacielo Galfa (1956) di Melchiorre Bega, un importante simbolo della Milano degli anni Cinquanta che, pur nel rispetto dell'aspetto originario, offre una reinterpretazione ecosostenibile dell'edificio che prevede l'inserimento di una fascia verde verticale (Fig. 4) nel curtain-wall continuo in acciaio e vetro.<sup>3</sup>

L'idea dell'involucro green sembra raccogliere ampi consensi e offrire una possibilità di riscatto anche a edifici che non presentavano in origine caratteri di grande pregio. Una recente proposta (luglio 2021) di trasformazione di quattro torri residenziali nel 'nuovo bosco verticale' della periferia milanese (Fig. 5) prevede il rivestimento delle facciate con materiali naturali derivanti dagli scarti del riso e vegetazione e la collocazione sul tetto, oltre ai pannelli solari, di piccoli alberi, orti e giardini condivisi (Marcomin, 2021). Si tratta di un progetto unico nel suo genere, che darebbe una vita nuova agli edifici e migliore ai suoi abitanti, emblema di un concetto sempre più ampio di sostenibilità, che prescinde dai soli aspetti tecnici e tecnologici, tributando una cre-

scente attenzione al benessere dell'individuo e alla relazione tra natura e città.

Ma forse sarebbe opportuno chiedersi anche quanto la stereometria delle torri di Boeri, scandita dalla sovrapposizione di giardini pensili aggettanti, abbia influito sull'evoluzione tipologica dell'edificio alto, un tempo chiuso e compatto, ormai sempre più poroso e verde. Il concept della Torre milanese Solea (2013) di Caputo Partnership (Fig. 6), con il suo giardino d'inverno «[...] racchiuso in un prisma a sbalzo sulla città, ombreggiato da lamelle in vetri orientabili» (Coppa and Tencconi, 2015, p. 286) e spaziose logge su cui si aprono gli spazi residenziali, non è dissimile da quello adottato da Franco Purini a Roma per il suo Eurosky nel 2013 (Purini and Thermes, 2006). E pure nei più recenti progetti non ancora realizzati – come i Giardini d'inverno e la Torre Milano nel capoluogo lombardo, o la Torre Parko di Saronno, in cui la pervasività del verde che riaffiora nelle facciate rimanda alla natura che si era appropriata delle vecchie strutture industriali abbandonate che insistono sull'area (Mezzi, n.d.) – serre, terrazze e giardini rigogliosi in quota sembrano diventare un elemento imprescindibile e qualificante che attesta anche la progressiva tendenza alla privatizzazione del verde.

Con i suoi Boschi Verticali, l'Architetto dà impulso anche a una rinnovata concezione dell'architettura che si amplia alla scala globale (Zappa, n.d.). Negli ultimi anni il modello originario è stato replicato senza limiti geografici comprovando la sua flessibilità e adattabilità alle diverse variabili locali come il clima, la flora e la fauna. Le sempre più numerose Forest City progettate dal famoso studio milanese sembrano ormai configurarsi come la concretizzazione di quella Utopia degli Alberi teorizzata da Jakob (2020). Declinazioni del prototipo italiano si sono moltiplicate nel mondo includendo suggestioni molteplici e differenziate: dalla Cina (a Nanjing e Liuzhou, con 40mila alberi e un milione di piante; Fig. 7), in cui l'interesse per il tema è suffragato anche dalla pubblicazione *A Vertical Forest*, curata dalla sede locale dell'atelier di Boeri (Marzullo, 2017), all'Egitto dove si includono piante in grado di resistere alla siccità, dall'Albania, in cui si lavora con la macchia mediterranea, sino ai Paesi Bassi, ove l'inserimento di nidi di uccelli crea un presidio urbano di biodiversità.

E proprio la olandese Trudo Tower (2021) di Eindhoven, un complesso residenziale con dimore di piccole dimensioni e affitti calmierati rivolto a un'utenza popolare, rappresenta una innovativa e interessante ibridazione del modello milanese con l'edilizia economica (Fig. 8). La prefabbricazione, la riduzione degli aggetti in facciata, l'ottimizzazione delle risorse e il conseguente contenimento dei costi di costruzione, puntano alla convergenza di aspetti sociali ed ecologici dimostrando che il verde potrebbe essere un bene accessibile a tutti (Stefano Boeri Architetti, n.d.). Questa esperienza conferma l'estrema flessibilità del prototipo milanese, potenzialmente iterabile al di là di ogni limite geografico e culturale, palesandone anche la capacità di accogliere nuove sfide abitative-sociali.

**Il verde dentro** | La consuetudine di introdurre l'elemento vegetale anche all'interno degli edifici alti colloca le esperienze italiane nel solco della

tradizione avviata da Norman Foster negli anni Novanta del secolo scorso quando aveva realizzato a Francoforte il primo grattacielo ecologico del mondo (Egg, 1998; Fig. 9). L'architetto britannico, all'epoca sostenuto dal Partito dei Verdi della città tedesca, aveva infatti inserito una serie di giardini che salivano a spirale lungo l'altezza della nuova sede della Commerzbank (completata nel 1997), inaugurando l'opzione del 'verde di attraversamento' in seno a un edificio dalla spiccata verticalità. L'inserimento delle specie arboree in grado di fornire luce naturale, un'adeguata ventilazione ai luoghi di lavoro e di creare nuove piacevoli aree di sosta e di incontro per i dipendenti, ha trovato da allora un certo consenso tra i costruttori di grattacieli che hanno intravisto in questa soluzione green lo strumento non solo per dare un segnale di cambiamento ecologico, ma anche per attivare quel dialogo tra architettura e natura che da secoli costituisce una delle primarie ambizioni dei progettisti.

Inoltre, la presenza di questi spazi piantumati assume a volte anche una connotazione di sostenibilità sociale; non sono mancate, infatti, le riflessioni da parte degli architetti sui possibili vantaggi in termini di creazione di superfici a uso collettivo. Jason Pomeroy (2013) sottolinea come la tendenza alla privatizzazione degli spazi pubblici delle nostre città e l'indiscutibile scarsità di giardini e zone verdi, possano in qualche modo essere compensate dall'introduzione di questo nuovo green 'vertical urban design' accessibile all'intera comunità. Nonostante la sostenibilità energetica continui a costituire l'obiettivo più comunemente perseguito e più facilmente raggiungibile attraverso questa scelta progettuale dell'elemento vegetale interno al manufatto, alcuni ambiziosi tentativi di democratizzazione stanno aprendo la strada alla dimensione sociale.

La fitta rete vegetale che si dipana lungo tutta l'altezza della sede di Intesa Sanpaolo firmata da Renzo Piano a Torino (Fig. 10) o il ricorso al verde trasversale proposto da Mario Cucinella nella Torre Unipol a Milano (Fig. 11), sono esempi significativi di interazione tra cultura ambientale e tecnologia (Wood and Henry, 2016; Mario Cucinella Architects, 2017) che rispondono alle esigenze di termoregolazione e non solo. I due rinomati architetti italiani, seppur vincolati dalla destinazione d'uso e dal carattere privato del grattacielo, intendono incentivare la valenza pubblica dei giardini pensili e delle serre in sommità che diventano – come già collaudato nel caso torinese ultimato nel 2015 – delle vere e proprie piazze sospese sopra alla città (Piano and Roldano, 2017).

L'edificio progettato dall'architetto genovese è essenzialmente articolato attorno alla vegetazione che fa la sua comparsa nel giardino ipogeo per poi inerparsi, attraversando verticalmente l'intero manufatto, con piantumazioni rampicanti di tipo mediterraneo – con specie rare e inconsuete per attirare il pubblico – e per dare vita, in copertura, a una serra bioclimatica allestita su tre livelli (Fig. 12). Oltre a filtrare e modulare la luce naturale, il ruolo del verde traversante e del giardino sospeso del 35mo piano è quello di moderare la calura estiva e limitare le dispersioni termiche nella stagione invernale, quando le temperature interne riescono a rimanere al di sopra dello

zero; l'irraggiamento e l'adeguata ventilazione consentono invece di mantenere i locali asciutti.<sup>4</sup>

L'altro ambizioso e articolato esempio di ricorso a questa opzione green, ad oggi in corso di realizzazione, si trova all'interno del nuovo quartiere di Porta Nuova, a pochi passi da piazza Gae Aulenti (Mario Cucinella Architects, 2017). Le performance di sostenibilità «[...] in termini di funzionalità idraulica, risparmio idrico, gestione del terriccio e durabilità con bassa manutenzione» (Baggio, 2018, 25) si potenziano grazie alla funzione termoregolatrice del verde collocato all'interno del 'nido verticale'. Cucinella, uno degli architetti italiani più attenti alle tematiche energetiche e ambientali, concepisce questa vegetazione traversante come elemento atto non solo a impreziosire l'ambiente, ma a svolgere una funzione di 'polmone verde' in grado di ossigenare gli spazi interni. Anche la serra panoramica, non dissimile da quella concepita da Piano a Torino, dovrà permettere di controllare la temperatura senza ricorrere all'areazione artificiale, mentre la grande piazza al piano terra si propone come un grande giardino d'inverno aperto sulla città (Arsuffi, 2017).

L'intero progetto paesaggistico è stato ideato come una metafora della Divina Commedia, seguendo una narrazione inversa all'opera dantesca (Fig. 13): dal Paradiso dei piani bassi al Purgatorio dei livelli intermedi, fino all'Inferno della grande serra (Arsuffi, 2017). L'architetto Marilena Baggio, collaboratrice dello studio Cucinella, colloca alla base una macchia mediterranea 'paradisiaca', la trasforma in boscaglia tropicale per proporre infine, sulla sommità del grattacielo, un paesaggio arido e secco. L'ascesa verso l'Inferno corrisponde così a un significativo processo di desertificazione, dove colore, dimensione e forme delle differenti specie dovrebbero inoltre consentire al fruitore di localizzarsi più facilmente all'interno dell'ampio spazio verticale.

Ma il verde sembra costituire il filo rosso anche delle operazioni di retrofitting di alcuni edifici storici alti tra cui si segnala il recentissimo e significativo progetto di riqualificazione del Pirellino di Milano, ove la vegetazione non coprirà solamente la facciata della nuova torre in costruzione, ma farà la sua comparsa anche all'interno dell'edificio a ponte (Fig. 14) che ospiterà una serra pubblica caratterizzata da una grande varietà botanica di tipo mediterraneo<sup>5</sup>. Stefano Boeri, responsabile anche di questo intervento, ha chiarito il concept dell'operazione così: «Il nostro progetto riporta in vita un nobile edificio (l'ex Pirellino), propone una torre dove la Botanica si intreccia con l'architettura e inventa con il nuovo Ponte/Serra uno spazio verde aperto a tutta la città. In un periodo così difficile, questo progetto rilancia nel mondo la visione di una Milano che scommette sul futuro e affronta con coraggio le grandi sfide della crisi climatica».<sup>6</sup>

Anche la riqualificazione e la rimozione dell'amianto dalla Torre Galfa ha incoraggiato fin dal 2012 le ipotesi progettuali di alcuni architetti e del mondo accademico palesando una chiara propensione per il greenery. Nel 2014 il Prof. Del Curto (2015) aveva per esempio sollecitato i suoi studenti del Politecnico di Milano a elaborare alcune ipotesi di recupero di questa storica costruzione, conservandone le caratteristiche identitarie. Tra i progetti più originali si distingueva

proprio quello volto alla ri-naturalizzazione dell'edificio alto trasformato in una sorta di fattoria verticale; il tanto celebrato curtain-wall immaginato da Melchiorre Bega rimaneva in tal modo inalterato continuando a ricoprire la torre trasformata ad uso agricolo.<sup>7</sup>

Ma il raggiungimento di un adeguato livello di sostenibilità ambientale ed economica, sempre più frequente nelle operazioni di retrofitting di grattacieli o torri, sta recentemente sollecitando i progettisti a una riflessione anche sull'impatto urbano e sociale di tali manufatti. Questo nuovo interesse per la valenza civica del grattacielo procede spesso di pari passo con una inedita attenzione alla presenza del verde, che si traduce in piantumazioni ai piedi, ai fianchi degli edifici alti – oltre che, come si è visto – sui loro involucri. È il caso, per esempio, dell'intervento precursore sulle Torri Garibaldi in cui nuovi giardini pensili sono venuti a coprire i corpi bassi del basamento (Masera, 2010). Nel caso della Torre Sassetti 32, una costruzione degli anni Novanta del secolo scorso, il progetto di riqualificazione ha previsto invece la sistemazione dell'area adiacente dove sono state collocate specie vegetali dal ridotto fabbisogno idrico (Lombardini22, 2017).

Anche l'attacco a terra della Torre Galfa è stato recentemente oggetto di restyling (2016-2020). Maurice Kanah, dello studio milanese BG&K Associati, ha inserito un cubo vetrato che si affaccia sulla via di grande scorrimento verso la Stazione centrale e che alloggia l'ascensore per l'accesso al piano interrato, dove si trovano i parcheggi e una parte degli impianti originariamente ubicati negli ultimi piani; tale dislocamento ha permesso di creare un'ampia terrazza panoramica. Sul fronte nord-ovest, invece, è stato progettato un ingresso ipogeo che consente di accedere direttamente agli appartamenti, mentre vasche d'acqua, sedute di marmo e cespugli di bosso restituiscono alla collettività un luogo di passaggio ma anche una piccola area verde di sosta e d'incontro, recuperando una superficie che per anni era stata occupata da una banale stazione di servizio e permettendo di «[...] stabilire un contatto più forte con l'intorno urbano» (Modulo Board, 2018, p. 12).

L'idea di una riqualificazione sostenibile basata su una mobilità green e su una indiscutibile valorizzazione ambientale e urbana ha scandito anche i lavori sulla Torre Bonnet, un edificio degli anni Sessanta: l'area alla base del grattacielo è stata trasformata dallo studio londinese PLP Architecture tra 2017 e 2020 in uno spazio piacevole da vivere e da attraversare (Giovanna, 2018). Per la sistemazione della piazza la piantumazione prevista da alcune ipotesi progettuali iniziali ha lasciato il posto alla creazione di un nuovo edificio – denominato Podium – collocato al centro dello spazio pubblico e diventato il nuovo luogo di accesso, passaggio e incontro. Il miglioramento della qualità di vita di tutto il contesto urbano ha costituito l'obiettivo principale di questa riqualificazione che ha inteso creare una connessione pedonale tra piazza Gae Aulenti, corso Como e viale Pasubio e più in generale con il resto della città. I nuovi camminamenti rifiniti con pavimentazioni in pietra si sono rammagliati con quelli esistenti, mentre ulteriori aree verdi con specie vegetali autoctone hanno rafforzato questa ricerca di integrazione con l'intorno.<sup>8</sup>

Il progetto di riqualificazione della celebre Torre Velasca<sup>9</sup>, attualmente in corso e firmato da Paolo Asti, prevede anch'esso la rigenerazione urbana dell'intero quartiere migliorando l'accessibilità all'edificio attraverso la rimozione di barriere architettoniche e parcheggi e intervenendo sulla piazza omonima con l'inserimento di aree



**Fig. 3** | The Three Vertical Woods project in the former industrial area of Viale Foscolo in Monza, designed by Stefano Boeri, 2021 (source: milano.corriere.it, 2022).

**Fig. 4** | Retrofitting project of Galfa Tower in Milan, designed by J.M. Schivo & Associati s.r.l., 2012 (source: jmschivo.com, 2022).

**Fig. 5** | Transformation project of four residential towers in the 'new vertical forest' of Milan suburbs designed by Tiziana Monterisi architect (source: milanosud.com, 2022).

verdi e spazi commerciali unicamente pedonali: «La rivedremo affacciarsi su una piazza pedonale, piena di dehor, ispirata ai massimi standard di sostenibilità ambientale» afferma Mario Abbadesse, Senior Managing Director & Country Head di Hines Italy (Savelli, 2021): questo intervento travalica i confini del singolo manufatto conferendo identità e appeal a quello che è stato fino ad ora un semplice spazio di attraversamento.



**Fig. 6** | Solea Tower in Milan, designed by Caputo Partnership, 2013 (source: infobuild.it, 2022).

**Fig. 7** | Nanjing Vertical Forest in Nanjing, designed by Stefano Boeri, 2021 (source: stefano-boeri-architetti.net, 2022).

**Fig. 8** | Trudo Vertical Forest in Eindhoven, designed by Stefano Boeri, 2021 (source: dozen.com, 2022).

Anche il cosiddetto ‘attacco al cielo’, inizialmente deputato agli impianti tecnici è ormai sempre più spesso utilizzato, specialmente negli interventi di retrofitting, come luogo di socializzazione, ospitando terrazze e specie vegetali e puntando alla sostenibilità ambientale incentivata in parte anche dal riciclo delle acque. Oltre all’innalzamento di due piani, la riqualificazione della vecchia Torre Bonnet ha previsto la realizzazione di un belvedere in sommità, una scelta progettuale che accomuna molti altri interventi, come quello della Tirrena con il suo giardino pensile in copertura liberata dalle attrezzature, ora trasferite nei piani interrati; ampie vasche piantumate di ulivi si stagliano sul nuovo volume vetrato realizzato sul tetto, ma arretrato rispetto al filo stradale: un luogo di affaccio sulla città, oltre che un’area fruibile dal personale degli uffici della torre (Coppa, 2021). A questo spazio il progettista ha cercato di attribuire qualità particolari: la scelta di una pianta simbolica e secolare come l’ulivo viene opzionata, infatti, da Asti perché capace di veicolare un forte senso di pace e di eternità (Fig. 15).

**Riflessioni conclusive** | Tetti giardino, pareti verdi e orti verticali sono oggi resi possibili dal perfezionamento della tecnologia che ha definitivamente risolto le difficoltà legate alle infiltrazioni, all’umidità o ai danni provocati dalle radici delle piante collocate sulle coperture, rendendo la coltivazione del verde sulle sommità degli edifici (compresi quelli alti) un semplice problema di scelta dei materiali, del tipo di vegetazione (a piccolo o medio fusto) e delle tecniche di posa. Ma se l’inserimento delle piante in seno agli edifici a sviluppo verticale, siano essi di nuova edificazione o oggetti di retrofitting, rappresenta un’interessante strategia per mitigare le condizioni termiche degli ambienti, può rischiare di diventare anche un semplice virtuosismo ‘green’ non privo di criticità (Bellini and Mocchi, 2017). I costi del posizionamento delle piante, in alcuni casi significativamente pesanti come nella serra sommitale della sede Intesa Sanpaolo, per esempio, potrebbero sollevare degli interrogativi sulla reale sostenibilità dell’intervento.

La frequente presenza del verde anche ai piedi dei grattacieli milanesi riqualificati in questi ultimi anni sostanzia l’importanza che questi edifici alti possano rivestire nei rispettivi contesti di appartenenza e le infinite potenzialità di questa tipologia edilizia all’interno di ambiti sempre più ampi e molteplici. Al contempo, questo paradigma compositivo, senza alcun dubbio accattivante per le intrinseche qualità dell’elemento vegetale, potrebbe dare origine a situazioni urbane estranee al contesto storico. L’introduzione di piante, a volte, rischia infatti di stridere con i progetti originali o le configurazioni stratificate, come nel caso della piazza adiacente alla Velasca la cui superficie era tradizionalmente minerale. D’altronde, anche il cosiddetto ‘attacco al cielo’ non è esente dal rischio della banalizzazione dell’introduzione dell’elemento vegetale, divenendo in alcuni casi un semplice appeal oltre che una pura strategia commerciale e decretando l’illusoria fusione tra architettura e natura; anche gli ulivi collocati sulla Torre Tirrena non sembrano avere valenze ambientali, ma esclusivamente simboliche.

Il greenery applicato ai grattacieli italiani può contribuire a migliorare i requisiti ambientali dell’edificio e del suo intorno, tuttavia, non si dovrebbero inibire interrogativi sulla effettiva sostenibilità, anche economica e sociale, di queste soluzioni progettuali, che talvolta sembrano rispondere a mere istanze estetiche e ornamentali o a esigenze di marketing: rivestire le pareti dei grattacieli, infatti, non basta a equilibrare gli effetti di queste costruzioni sull’ambiente. Come recenti studi hanno evidenziato, gli edifici alti sono molto impattanti dal punto di vista delle emissioni e del ciclo di vita dei materiali (trasporti, costruzione, materiali, uso e decostruzione) e ciò non è compensato da un ridotto uso di suolo. Il Professor Francesco Pomponi, specialista sui temi della sostenibilità presso l’Università di Edinburgo, esprime ulteriori perplessità sulla collocazione delle specie arboree in altezza, sottolineando i vantaggi di una integrazione nel tessuto urbano orizzontale (Talignani, 2021). Anche il docente della Leeds Beckett University Alan Simson, sottolinea il rischio di queste operazioni green che possono trasformarsi in semplici interventi scenografici o ‘ripensamenti cosmetici’, piuttosto che essere introiettati nella ‘infrastruttura critica’ della città (Sarfatti, 2020).

Dubbi sui reali impatti delle torri di Boeri o della sede Intesa Sanpaolo potrebbero riguardare la fase di costruzione, così come quelle di gestione e manutenzione; secondo Jakob (2020), per esempio, il Bosco Verticale sarebbe un ‘life style building’, cioè l’espressione iconica di un’architettura che va vista e ammirata a priori, solo un ‘dressing’ contemporaneo superficiale e costoso. Un’ulteriore criticità, a nostro avviso, scaturisce dall’approccio elitario di alcuni progetti – da quelli di Boeri, alla torre milanese Solea o all’Eurosky di Purini a Roma – che traslano il verde dagli spazi pubblici e condivisi a quelli privati ed esclusivi svuotandolo del suo ruolo sociale e trasformandolo in una patina superficiale e costosa per attirare facoltosi acquirenti.

Nonostante ciò, l’inclusione di vegetazione, anche nel caso di edifici alti, sarebbe una finalità da raggiungere quanto mai opportuna e indifferibile, ancor di più alla luce delle mutate abitudini di vita derivanti dall’emergenza sanitaria in corso. Il verde, collocato sulle ampie superfici interne ed esterne, orizzontali e verticali dei grattacieli, potrebbe infatti instaurare una simbiosi inedita con l’architettura verticale, contribuendo al raggiungimento di una effettiva sostenibilità, purché inteso nei suoi aspetti reali e sostanziali e non come una banale patina superficiale.

---

The constant tension towards a synergy between building and nature that has marked the history of architecture since ancient times is exemplified by the hanging gardens of Babylon, the fourteenth-century tower of the Giunigi in Lucca, the planted terraces of Henri Sauvage and the suspended greenery in the terraced buildings of Sant’Elia or the toit-terrasse of Le Corbusier. If, in the past, vegetation covered the roofs mainly with the aim of mitigating the microclimate, starting from the twentieth century, it also intended to partially compensate for the lack of urban parks. Moreover, the custom of including greenery has pro-

gressively extended to the envelopes, interiors and spaces surrounding buildings (Bellini and Mocchi, 2017). In recent decades, this trend also concerns buildings that develop vertically, whether newly built or object of renovation. Roof gardens, walls covered in vegetation and vertical gardens have become more and more widespread in Italian skyscrapers, a testament to the search for sustainability no longer exclusively linked to the use of innovative materials<sup>1</sup> or the reduction in consumption of non-renewable sources, but rather to the introduction of natural resources, such as greenery, which could be an effective strategy to reduce pollution and improve the microclimate, as well as the general aesthetic of the intervention (Al-Kodmany, 2015; Pomeroy, 2013).

Despite the current relevance of the topic and the growing number of experiments, theoretical observations remain rare. In fact, the literature dealing with the interrelation between nature and architecture seems to seldom focus on the greening of tall buildings. Skyscrapers and Gardens by landscape historian Michael Jakob (2020) is one of the rare exceptions and includes Boeri's Vertical Forest in the international overview on greenery in the urban habitat. Other texts offer further insights and interpretations: for Jason Pomeroy (2013), author of *The Skycourt and Skygarden – Greening the Urban Habitat*, the vertical urban kingdom creates new social spaces in the sky, while the British urban designer Alan Simson (2020) elaborates a utopian vision, the so-called Treetopia, in which trees supposedly take over the metropolitan scenario, conquering private and public spaces but also the very same residential buildings.

This study aims to contribute to filling these gaps through a precise analysis of certain Italian skyscrapers characterized by the green element. This original point of view emphasizes the potential and importance of the use of vegetation even in the tall building, an architectural type historically in contrast with the natural environment. Furthermore, the strengths and weaknesses that have emerged from the various interventions on skyscrapers could be applicable at larger and more differentiated scales.

**Responsive Green Envelopes** | Since the end of the last century, the custom of covering the facades of buildings with greenery has been regaining popularity and assuming an increasing strategic role in combating climate change and protecting biodiversity (Comino, Molari and Dominici, 2021). Innovative experiments were carried out in the 1960s; however, these lacked awareness of the issue of sustainability. In 1978, architects Josep Maria Fargas and Enric Tous and botanist Everest Munné created Barcelona's Planeta, one of the first urban forests in Europe (Sarfatti, 2020). Following these, the 1980s invention of the mur végétal by French researcher Patrick Blanc (2008) marks an important milestone in the path of naturalization of the built environment, and changes the technical and expressive modes of integration between architectural design and greenery. This solution, according to the creative Parisian landscape designer, provides the opportunity to include unexpected green areas even in very dense contexts, where intervention on the generally already congested

horizontality would otherwise be difficult to achieve (Aimar, 2016).

In recent years, the use of vertical greenery has found an increasingly wide application in the field of tall buildings, a now well-established architectural type therefore susceptible to further variations, and ready to take on new values, such as environmental ones (Jakob, 2020). Therefore, high green walls are becoming a valid alternative to the more traditional American-inspired transparent envelopes, offering a renewed perception of the skylines. However, apart from their undeniable aesthetic significance, these new metropolitan forests intend above all to assume a relevant position in the context of urban ecology, thus also contributing to recomposing the ancestral dichotomy between skyscraper and sustainability. This direction is exemplified, among the many completed or ongoing interventions, in Blanc's projects in collaboration with Jean Nouvel, such as the towers of One Central Park (2010) in Sydney, which boast the largest green wall in the world, and those of Le Nouvel KLCC (2016) in Kuala Lumpur, with large facades that integrate glass and vegetation<sup>2</sup>, or in the Stefano Boeri's Vertical Forest (2009-2014) in Milan, a new idea of skyscraper, in which trees and humans coexist (Menaldo, 2014), an iconic example of the symbiosis between nature and artifice (Bozzola, 2011).

The enormous amount of heat generated by the reflection of sunlight on the glass, ceramic or metal panelling of the Abu Dhabi skyscrapers, visited by Boeri in 2007, probably inspired the solution for the two famous Milanese skyscrapers characterized instead by green facades (Fig. 1). The large overhanging staggered terraces host more than 100 tree species (800 trees, 4,500 shrubs, and about 15,000 perennials or ground cover plants), appropriately placed according to the building's exposure (evergreen to the south, bare to the north and west, muted tones to the east). This makes the elevations variable and changeable depending on the season and climate (Giacomella and Valagussa, 2015). The equivalent of 30,000 square meters of forest and undergrowth is thus concentrated on an urban area of 3,000 square meters in order to achieve both environmental benefits (acoustic and thermal insulation, filtering of particulate matter, incentive to biodiversity), as well as psychological ones, even if only visual, for the users.

The choice of the species, wisely selected by landscape agronomist Laura Gatti and pre-cultivated in a special nursery with the aim of customizing the plants to living conditions similar to the final ones, reconciles botanical and engineering needs: resistance to wind (tested in a laboratory in Miami) and parasites, ability to hold micro-dust, possibility of safe anchoring (Belleri, 2012). Maintaining the abundant vegetation has made centralized management inevitable: innovative eco-structure monitoring systems are used to respond to actual water needs, differentiated according to exposure and heights, while complex irrigation systems are fed by recycled rainwater and greywater. These towers, clad not in glass, but leaves, plants, shrubs, trees and life (Menaldo, 2014), have also won numerous international awards, such as the International High-rise Award 2014, assigned by the Deutsches Architekturmuseum in Frankfurt (DAM) to the 'most



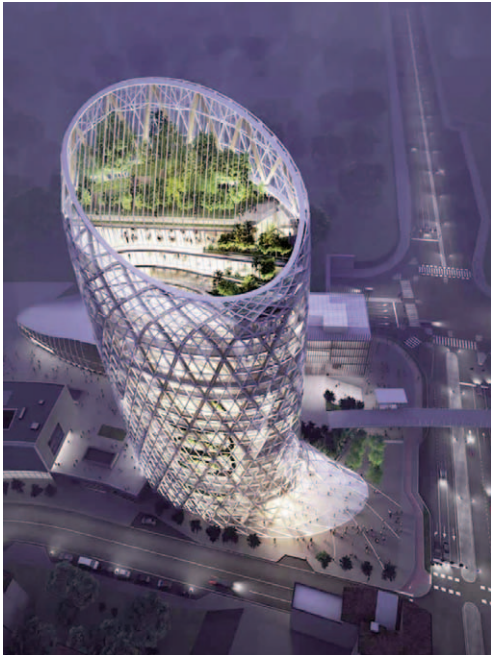
**Fig. 9** | Commerzbank Tower in Frankfurt, designed by Norman Forster, 1997 (source: idealista.it, 2022).

**Fig. 10** | Intesa Sanpaolo in Turin, designed by Renzo Piano, 2015: Section of the upper floors (source: plata formaarquitectura.cl, 2022).

beautiful and innovative skyscraper in the world'. In 2019, CTBUH also included these skyscrapers among the 50 most iconic tall buildings of the last 50 years.

The emblematic experience of Porta Nuova births a creative season in which the interaction between skyscrapers and nature appears to be the inescapable stylistic feature in all of Boeri's interventions. As the winner of the 2019 international competition for the renovation of the Pirellino (1966), which sees him working in collaboration with New York studio Diller, Scofidio+Renfro – already designer of the New York High Line – he proposes to place, alongside the pre-existing buildings, a new Botanical Tower with a facade covered by 1700 square meters of vegetation and photovoltaic panels located in the parapets of the balconies (Milan, 2021): a green lung, variable in colour depending on the seasons and the blooms, able to produce 9 tons of oxygen and absorb 14 tons of CO<sub>2</sub> each year, as well as generating 65% of its own energy needs (Fig. 2).

The project reiterates the concept introduced by its forerunner. However, as the architect himself clarifies, if the Vertical Forest is an attempt to demonstrate that it is possible to bring a population of trees, a real forest, into the sky of the city, a similar idea in terms of greenery has been applied to the new Botanical Tower, however focusing more on the tradition of the Italian garden and the rational presence of natural elements, strongly linked to the concept of a botanical garden (Barletta, 2021). The green envelope also shapes and characterizes more recent projects. The Bosconavigli, a large residential building that re-proposes the tried and tested hanging gardens and terraces, will rise in a disused area near the Naviglio Grande in Milan by 2024. In Monza, three new vertical woods surrounded by a hori-



**Fig. 11** | Unipol Tower 'vertical nest' in Milan, designed by Mario Cucinella, 2016: View of the model (source: blog.urbanfile.org, 2022).

**Fig. 12** | Intesa Sanpaolo in Turin, designed by Renzo Piano, 2015: Detail of the bioclimatic greenhouse (source: Piano and Rolando, 2017).



zontal urban park of 4,000 square meters (Fig. 3), will transform a former manufacturing area (Rossin, 2019).

Nonetheless, Boeri's experiment certainly represents a model for other designers who try their hand at building new towers in Milan – such as the Klima Hotel (2012-14), featuring a tall vertical garden (Ghiacci, 2013) or the Hotel Viu (2014-17), in which vegetation becomes a compositional element that wraps and characterizes the headboards (Scalco, 2017) – or in the renovation of existing ones. One example is the unbuilt proposal designed by J. M. Schivo & Associati s.r.l. in 2012 for the retrofitting of the Galfa Tower (1956) by

Melchiorre Bega, an important symbol of 1950s Milan, which, while respecting the original appearance, offers an eco-sustainable reinterpretation of the building that envisages the inclusion of a vertical green belt (Fig. 4) in the continuous steel and glass curtain-wall.<sup>3</sup>

The idea of the green envelope seems to be widely accepted, offering a chance even to buildings that originally lacked significant value. A recent proposal (July 2021) for the transformation of four residential towers into a 'new vertical forest' located on the outskirts of Milan (Fig. 5) envisages covering the facades with natural materials derived from rice waste and vegetation, and placing small trees, vegetable patches and shared gardens on the roof, in addition to solar panels (Marcomin, 2021). This project is unique in its kind and would give a new life to the buildings and a better one to its inhabitants. It is an emblem of an increasingly broader concept of sustainability, which disregards the mere technical and technological aspects, however, paying increasing attention to the well-being of the individual and the relationship between nature and the city.

Perhaps it would also be appropriate to ask how much the stereometry of Boeri's towers, punctuated by the overlapping of projecting roof gardens, has influenced the typological evolution of the tall building, once closed and compact, now increasingly porous and green. The concept of Caputo Partnership's Solea Tower (2013) in Milan (Fig. 6), with its winter garden enclosed in a prism overlooking the city, shaded by adjustable glass panes (Coppa and Tenconi, 2015) and spacious loggias onto which residential spaces open, is not dissimilar to that adopted by Franco Purini in Rome for his Eurosky in 2013 (Purini and Thermes, 2006). Even in the most recent, yet to be completed, projects – such as the Winter Gardens and the Torre Milano located in the Lombardy capital, or the Torre Parko in Saronno, in which the pervasiveness of the greenery that reappears in the facades recalls the nature that had appropriated the old abandoned industrial structures in the area (Mezzi, n.d.) – greenhouses, terraces and lush gardens at high altitudes seem to become an essential and qualifying element that also attests to the progressive trend towards the privatization of greenery.

With his Vertical Forests, the Architect also provides the impulse for a renewed conception of architecture that expands to a global scale (Zappa, n.d.). In recent years the original model has been replicated without geographical limits, proving its flexibility and adaptability to different local variables such as climate, flora and fauna. The increasing number of Forest Cities designed by the renowned Boeri Architecture Studio now seems to be the fulfilment of the Treetopia theorized by Jakob (2020). Variations of the Italian prototype have multiplied around the world, including many different and diversified suggestions: from China (in Nanjing and Liuzhou, with 40 thousand trees and one million plants; Fig. 7), where the interest in the topic is also supported by the publication *A Vertical Forest*, edited by the local branch of Boeri's Studio (Marzullo, 2017), to Egypt where plants capable of resisting drought are included; from Albania, where work focuses on the Mediterranean scrub, to the Netherlands, where the in-

clusion of bird nests creates an urban centre of biodiversity.

The Dutch Trudo Tower (2021) in Eindhoven, a residential complex with small dwellings and subsidized rents aimed at low-income users, represents an innovative and interesting hybridization of the Milanese model with affordable housing (Fig. 8). The prefabrication, the reduction of overhangs in the facade, the optimization of resources and the consequent containment of construction costs, point to the convergence of social and ecological aspects, demonstrating that greenery could be an accessible asset for everyone (Stefano Boeri Architetti, n.d.). This experiment confirms the extreme flexibility of the Milanese prototype, potentially repeatable beyond any geographic and cultural limit, proving its ability to accommodate new housing and social challenges.

**Green Interiors** | The custom of introducing the green element also in the interior of tall buildings places the Italian experiments in the wake of the tradition started by Norman Foster in the 1990s, when he created the first ecological skyscraper in the world in Frankfurt (Egg, 1998; Fig. 9). The British architect, supported at the time by the Green Party of the German city, had in fact introduced a series of gardens that spiralled upwards along the height of the new Commerzbank headquarters (completed in 1997), thereby inaugurating the option of 'passage greenery' within a distinctly vertically oriented building. The inclusion of tree species, capable of providing natural light and adequate ventilation to the workplaces and of creating new pleasant areas for employees to rest and meet, has since then found a certain consensus among skyscraper designers, who have seen this green solution as the tool to give a signal of ecological change, but also to activate a dialogue between architecture and nature. This dialogue has been one of the primary ambitions of architects for centuries.

Moreover, the presence of these green spaces sometimes takes on a connotation of social sustainability. In fact, many architects have reflected on the possible advantages in terms of creating surfaces for collective use. Jason Pomeroy (2013) highlights how the tendency to privatize public spaces in our cities and the unquestionable scarcity of gardens and green areas can somehow be compensated by the introduction of this new green 'vertical urban design', accessible to the whole community. Although sustainable energy continues to be the most commonly pursued objective and is also more easily achievable by including the green element as a design choice within the building, some ambitious attempts at democratization are opening the way to a social dimension.

The dense vegetation that unfolds along the entire height of the Intesa Sanpaolo headquarters designed by Renzo Piano in Turin (Fig. 10) or the use of transversal greenery proposed by Mario Cucinella in the Unipol Tower in Milan (Fig. 11), are significant examples of interaction between environmental culture and technology (Wood and Henry, 2016; Mario Cucinella Architects, 2017) that respond to more needs than that of thermoregulation. The two renowned Italian architects, although constrained by the purpose of

use and private character of the skyscraper, intend to encourage the public value of the hanging gardens and greenhouses at the top that become – as already proven in the mentioned Turin example completed in 2015 – actual squares suspended above the city (Piano and Rolando, 2017).

The building designed by the Genoese architect is essentially articulated around the vegetation that makes its appearance in the underground garden and then moves upwards, vertically crossing the entire building, with Mediterranean type climbing plants – rare and unusual species to attract the public – and to give life, on the roof, to a bioclimatic greenhouse set up on three levels (Fig. 12). In addition to filtering and modulating natural light, the role of the traversing greenery and the suspended garden on the 35th floor is to moderate high summer temperatures and limit heat loss in the winter season, when indoor temperatures manage to stay above zero. In contrast, irradiation and adequate ventilation keep the premises dry.<sup>4</sup>

The other ambitious and articulated example of this green option, currently ongoing, is located within the new Porta Nuova district, a few steps from Piazza Gae Aulenti (Mario Cucinella Architects, 2017). The sustainability performance in terms of hydraulic functionality, water-saving, topsoil management and durability with low maintenance (Baggio, 2018, 25) is enhanced by the thermoregulating function of the green placed inside the 'vertical nest'. Cucinella, one of the Italian architects most concerned with energy and environmental issues, envisions this traversing vegetation as an element that not only can embellish the environment but also acts as a 'green lung' able to oxygenate interior spaces. Even the panoramic greenhouse, similar to Piano's in Turin, should allow for temperature control without the need to resort to artificial ventilation, while the ample square on the ground floor serves as a large winter garden open to the city (Arsuffi, 2017).

The entire landscape project was conceived as a metaphor of the Divine Comedy, following an inverse narrative to Dante's work (Fig. 13): from the Paradise of the lower floors to the Purgatory at intermediate levels, up to the Hell of the large greenhouse (Arsuffi, 2017). Architect Marilena Baggio, who collaborated with the Cucinella Studio, places a 'paradisical' Mediterranean scrub at the base, transforming it into the tropical bush and finally presenting an arid and dry landscape at the top of the skyscraper. The ascent towards Hell thus corresponds to a significant process of desertification, where colour, size and shape of the different species should also allow the user to locate himself more easily within the large vertical space.

However, greenery seems to be the common theme also in the retrofitting operations of some tall historical buildings, among which the extremely recent and significant redevelopment of the Pirellino in Milan, where vegetation will not only cover the facade of the new tower under construction but will also appear inside the bridge-building (Fig. 14) that will host a public greenhouse characterized by a great variety of Mediterranean-type plants<sup>5</sup>. Stefano Boeri, designer of this intervention as well, conceptualized the project as

a process that will bring this noble building back to life (the former Pirellino), proposing a tower where botany and architecture intertwine and creating, with the new Bridge/Greenhouse, a green space open to the whole city. A project which, in such a difficult period, proves to the world that Milan is a city which bets on the future and courageously faces the difficult challenge of the climate crisis.<sup>6</sup>

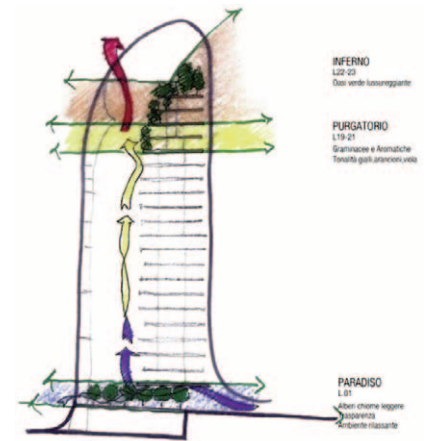
Since 2012, the removal of asbestos from the Galfa Tower has also encouraged design hypotheses of renovation from several architects and academics, revealing a clear inclination towards greenery. In 2014, Prof. Del Curto (2015) for example, urged his students of the Milan Polytechnic to develop suggestions for the recovery of this historic building, preserving its identifying characteristics. Among the most original projects, the one aimed at the re-naturalization of the high-rise transformed into a sort of vertical farm stood out; the much-celebrated curtain-wall imagined by Melchiorre Bega remained in this way unaltered, continuing to cover the tower transformed for agricultural use.<sup>7</sup>

However, the achievement of an adequate level of environmental and economic sustainability, which is increasingly frequent in the retrofitting of skyscrapers or towers, has recently prompted designers to reflect on the urban and social impact of such buildings. This new interest in the civic value of skyscrapers often goes hand in hand with unprecedented attention to the presence of greenery, which translates into the introduction of vegetation at the base and sides of tall buildings – as well as, as we have seen – on their envelopes. This is the case, for example, of the precursor intervention on the Garibaldi Towers in which new hanging gardens covered the low bodies of the base (Matera, 2010). The Torre Sasseti 32 renovation project for the Torre Sasseti 32, a 1990s construction, envisaged the arrangement of the adjacent area where plant species with reduced water needs were placed (Lombardini22, 2017).

The ground attachment of the Galfa Tower has also recently undergone retrofitting (2016-2020). Maurice Kanah, from the Milanese Studio BG&K Associati, inserted a glazed cube that overlooks the main arterial road towards Central Station and houses the elevator for access to the basement, where the parking lots and part of the facilities originally situated on the top floors are now located. This displacement enabled the creation of a large panoramic terrace. Conversely, on the north-west front, an underground entrance has been designed to allow direct access to the apartments, while water tanks, marble seats and boxwood bushes give back to the community a place of passage but also a small green area for rest and meeting, recovering a surface that for years had been occupied by a commonplace gas station and allowing for the establishment of a stronger contact with the urban surroundings (Modulo Board, 2018).

The idea of a sustainable renovation based on green mobility and unquestionable environmental and urban enhancement also marked the work on the Bonnet Tower, a building from the 1960s. The area at the base of the skyscraper was transformed by the London-based firm PLP Architecture between 2017 and 2020 into a space that is pleasant to live in and walk through (Gio-

vanna, 2018). Regarding the renewal of the square, the planting foreseen by some initial design hypotheses has been replaced by the creation of a new building – known as the Podium – located in the centre of the public space, which has become the new location for access, passage and meeting. Improving the quality of life of the entire



**Fig. 13** | Unipol Tower 'vertical nest' in Milan, designed by Mario Cucinella, 2016: Green project designed by Marilena Baggio (source: [blog.urbanfile.org](http://blog.urbanfile.org), 2022).

**Fig. 14** | Pirellino redevelopment project in Milan, designed by Stefano Boeri with Diller, Scofidio+Renfro, 2019: Detail of the bridge-building (source: [gambero-rosso.it](http://gambero-rosso.it), 2022).

**Fig. 15** | Retrofitting of the facade of the Torre Tirrena in Milan, designed by Paolo Asti, 2021 (credit: the Authors, 2022).

urban context has been the main objective of this redevelopment that has sought to create a pedestrian connection between Piazza Gae Aulenti, Corso Como and Viale Pasubio, and more generally with the rest of the city. The new walkways trimmed with stone pavements have mingled with the existing ones, while additional green areas featuring native plant species have reinforced this quest for integration with the surroundings.<sup>8</sup>

The renovation of the famous Torre Velasca<sup>9</sup>, currently underway and signed by Paolo Asti, also envisages the urban redevelopment of the entire district by improving accessibility to the building through the removal of architectural barriers and parking spaces, and by intervening on the eponymous square with the insertion of green areas and pedestrian-only commercial spaces. Mario Abbadessa, Senior Managing Director & Country Head of Hines Italy states that the tower will once again face a pedestrian square, rich in dehors and inspired by the highest standards of environmental sustainability (Savelli, 2021). This intervention stretches beyond the boundaries of the single building, giving identity and appeal to what was until now a simple crossing space.

Even the connection to the sky, initially dedicated to technical systems, is now increasingly used, especially in redevelopment interventions, as a place of socialization, hosting terraces and plant species and aiming at environmental sustainability, partly supported by water recycling. In addition to the two-story elevation, the retrofitting of the old Bonnet Tower has envisaged the creation of a belvedere at the top, a design choice that unites many other interventions, such as that of the Tirrena Tower, with its rooftop garden freed from the equipment, now moved to the basement. Large basins planted with olive trees stand out on the new glass volume built on the roof but withdrawn from the street level: a place to overlook the city, as well as an area usable by the staff of the tower offices (Coppa, 2021). The designer has clearly tried to attribute specific qualities to this space: a symbolic and secular plant such as the olive tree is chosen to convey a strong sense of peace and eternity (Fig. 15).

**Conclusions** | Roof gardens, green walls and vertical gardens are now possible thanks to the technological improvements that have permanently overcome the difficulties related to infiltration, moisture or damage caused by the roots of plants placed on roofs, making the cultivation of green on the tops of buildings (including high-

rises) a simple problem of choice of materials, type of vegetation (small or medium stem) and installation techniques. However, if the introduction of greenery within vertically developed buildings, whether newly built or objects of retrofitting, represents an interesting strategy to mitigate environmental thermal conditions, it also runs the risk of becoming a simple 'green' virtuous act, not without criticalities (Bellini and Mocchi, 2017). The (sometimes significant) costs of plant placement, as is for example the case with the rooftop greenhouse of the Intesa Sanpaolo headquarters, could raise questions about the effective sustainability of the intervention.

The frequent presence of vegetation at the foot of recently renovated Milanese skyscrapers substantiates the importance that these skyscrapers can have in their respective contexts, as well as the infinite potential of this type of building in increasingly large and multiple areas. At the same time, this compositional paradigm, undoubtedly captivating for the intrinsic qualities of the green element, could create urban situations alien to the historical context. The introduction of vegetation may sometimes be at risk of clashing with the original projects or the stratified configurations, as is the case with the square adjacent to the Velasca, whose surface was traditionally mineral. On the other hand, even the connection to the sky is not exempt from the risk of trivializing the introduction of the plant element, in some cases taking on the role of simple appeal, as well as a mere commercial strategy, creating a deceptive fusion between architecture and nature. Even the olive trees placed on the Tirrena Tower seem to only possess symbolic value, rather than environmental.

Greenery applied to Italian skyscrapers can contribute to improving the environmental requirements of the building and its surroundings. However, questions regarding the effective economic and social sustainability of these design solutions, which sometimes appear to respond to mere aesthetic, ornamental or marketing demands, should not be withheld. Covering the walls of skyscrapers, in fact, is not enough to balance the effects of these buildings on the environment. As recent studies have shown, high-rises are very impactful from an emissions and materials lifecycle perspective (transportation, construction, materials, use, and deconstruction) and this is not offset by reduced land use. Professor Francesco Pomponi, a specialist on sustainability issues at the University of Edinburgh, expresses further concerns regarding the vertical placement of tree

species, emphasizing the benefits of integration into the horizontal urban fabric (Talignani, 2021). Leeds Beckett University Professor Alan Simson also warns that these green operations can turn into simple scenic interventions or 'cosmetic redesigns', rather than being introjected into the 'critical infrastructure' of the city (Sarfatti, 2020).

There could be doubts regarding the real impacts of the construction phase of Boeri's towers or Intesa Sanpaolo's headquarters, as well as concerning the administration and maintenance of the buildings. According to Jakob (2020), for example, the Vertical Forest is a 'lifestyle building', i.e. the iconic expression of an architecture to be seen and admired at first glance, nothing but a superficial and expensive contemporary 'dressing'. A further critical issue, in our opinion, arises from the elitist approach of some projects – from Boeri's designs to the Solea Tower in Milan or Purini's Eurosky in Rome – that shift greenery from public and shared spaces to private and exclusive ones, stripping it of its social role and turning it into a superficial and expensive patina to attract wealthy buyers.

Nevertheless, the inclusion of vegetation, even in the case of tall buildings, represents an extremely advisable and urgent goal, even more so in light of the lifestyle changes resulting from the current health emergency. Greenery, placed on the large internal and external, horizontal and vertical surfaces of skyscrapers, could in fact establish an unprecedented symbiosis with vertical architecture, contributing to the achievement of effective sustainability, if understood in its concrete and substantial aspects and not as a trivial surface patina.

## Acknowledgements

This paper is the result of a shared reflection of the Authors. Nevertheless, the paragraph 'Green Interiors' is to be attributed to S. Talenti and the paragraph 'Responsive Green Envelopes' to A. Teodosio.

## Notes

1) Among the innovative materials on which recent studies and research are focusing, particularly significant is the experience carried out with Phase-Change Materials (Scalisi, 2021).

2) For more information on Patrick Blanc's Vertical Garden, visit the webpage: [verticalgardenpatrickblanc.com](http://verticalgardenpatrickblanc.com) [Accessed 22 March 2022].

3) For more information on the Galfa Tower retrofitting, visit the webpage: [jmschivo.com/schivo-architects-selected-projects/schivo-architects-projects/item/68-restyling-galfa-tower.html](http://jmschivo.com/schivo-architects-selected-projects/schivo-architects-projects/item/68-restyling-galfa-tower.html) [Accessed 22 March 2022].

4) For more information about Renzo Piano's Intesa Sanpaolo Tower, visit the webpage: [ioarch.it/la-citt-verticale/](http://ioarch.it/la-citt-verticale/) [Accessed 22 March 2022].

5) For more information about the renovation project of the 'Pirellino' in Milan, visit the webpage: [casaclima.com/mb/progetti/riqualificazioni/ar\\_43764\\_proget-](http://casaclima.com/mb/progetti/riqualificazioni/ar_43764_proget-)

[to-riqualificazione-pirellino-milano-coima.html](http://to-riqualificazione-pirellino-milano-coima.html) [Accessed 22 March 2022].

6) The text is extracted from an interview published on the web page: [archiportale.com/news/2021/01/architettura/milano-la-nuova-vita-green-dell-ex-pirellino\\_80758\\_3.html](http://archiportale.com/news/2021/01/architettura/milano-la-nuova-vita-green-dell-ex-pirellino_80758_3.html) [Accessed 22 March 2022].

7) On the topic of integration of production systems within vertical architectures see the essay by Zaffi and d'Ostuni (2020).

8) For more information see the Brochure of the Corso Como Place project (by COIMA Real Estate, Milan) on the webpage: [downloads.ctfassets.net/nbdg04tkaj3q/1gcXr7IMPbtT1b8VQmo3f7e565f6d5f1a3373e9f38a91](http://downloads.ctfassets.net/nbdg04tkaj3q/1gcXr7IMPbtT1b8VQmo3f7e565f6d5f1a3373e9f38a91)

f0d70ea7/Coima\_Bonnet\_brochure.pdf [Accessed 22 March 2022].

9) For more information on the new Torre Velasca in Milan, visit the webpage: [niiprogetti.it/la-nuova-torre-velasca-di-milano/?doing\\_wp\\_cron=1628880449.0853500366210937500000](http://niiprogetti.it/la-nuova-torre-velasca-di-milano/?doing_wp_cron=1628880449.0853500366210937500000) [Accessed 22 March 2022].

## References

- Aimar, F. (2016), “Patrick Blanc – Io botanico, so cosa fare con le piante (gli architetti no)”, in *Teckoring*, 28/01/2016. [Online] Available at: [teckoring.com/news/progettazione/patrick-blanc-io-botanico-so-cosa-fare-con-le-piante-gli-architetti-no/](http://teckoring.com/news/progettazione/patrick-blanc-io-botanico-so-cosa-fare-con-le-piante-gli-architetti-no/) [Accessed 22 March 2022].
- Al-Kodmany, K. (2015), *Eco-Towers – Sustainable Cities in the Sky*, WIT Press, Southampton.
- Arsuffi, R. (2017), “Milano | Porta Nuova – Torre Unipol – Novità sul verde nella torre”, in *Urbanfile*, 28/06/2017. [Online] Available at: [blog.urbanfile.org/2017/06/28/milano-porta-nuova-torre-unipol-novita-sul-verde-nella-torre/](http://blog.urbanfile.org/2017/06/28/milano-porta-nuova-torre-unipol-novita-sul-verde-nella-torre/) [Accessed 12 April 2022].
- Baggio, M. (2018), “23 piani di verde”, in *Il Giardiniere*, n. 12, pp. 22-25. [Online] Available at: [issuu.com/edizionalaboratorioverde/docs/012\\_il\\_giardiniere\\_short\\_lowdef](http://issuu.com/edizionalaboratorioverde/docs/012_il_giardiniere_short_lowdef) [Accessed 22 March 2022].
- Barletta, M. (2021), “Torre botanica e ponte-serra per Pirelli 39 – Svelato il progetto di Stefano Boeri Architetti-Diller Scofidio+Renfro”, in *Professione Architetto*, 28/01/2021. [Online] Available at: [professionearchitetto.it/news/notizie/28351/Torre-botanica-e-ponte-serra-per-Pirelli-39-svelato-il-progetto-di-Boeri-Diller](http://professionearchitetto.it/news/notizie/28351/Torre-botanica-e-ponte-serra-per-Pirelli-39-svelato-il-progetto-di-Boeri-Diller) [Accessed 22 March 2022].
- Belleri, D. (2012), “I segreti del Bosco Verticale – L’intervista a Laura Gatti, paesaggista curatrice del verde che rivestirà i futuristici grattacieli”, in *Living | Corriere della Sera*, 03/07/2012. [Online] Available at: [living.corriere.it/architettura/intervista-bosco-verticale-milano-40795935295/](http://living.corriere.it/architettura/intervista-bosco-verticale-milano-40795935295/) [Accessed 22 March 2022].
- Bellini, O. E. and Mocchi, M. (2017), “Paesaggi Urbani in Quota – Il Verde come Culto contemporaneo | Urban green Landscapes – The Green as contemporary Cult”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 2, pp. 95-100. [Online] Available at: [doi.org/10.19229/2464-9309/2132017](http://doi.org/10.19229/2464-9309/2132017) [Accessed 20 April 2022].
- Blanc, P. (2008), *Le mur végétal – De la nature à la ville*, M. Lafon, Neuilly-sur-Seine.
- Bozzola, E. (2011), “Il Bosco Verticale di Milano – Il progetto sostenibile di Boeri”, in *Architettura Ecosostenibile*, 02/11/2011. [Online] Available at: [architetturaecosostenibile.it/architettura/progetti/bosco-verticale-milano-progetto-sostenibile-boeri-387](http://architetturaecosostenibile.it/architettura/progetti/bosco-verticale-milano-progetto-sostenibile-boeri-387) [Accessed 22 March 2022].
- Comino, E., Molari, M. and Dominici, L. (2021), “La città che invita la natura – Progettare in collaborazione con il verde verticale | City that embraces nature – Designing with vertical greenery”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 9, pp. 112-123. [Online] Available at: [doi.org/10.19229/2464-9309/9112021](http://doi.org/10.19229/2464-9309/9112021) [Accessed 20 April 2022].
- Coppa, A. (2021), “Paolo Asti brings the historic Torre Tirrena in Piazza Liberty, Milan, back to life”, in *Domus web*, 25/01/2021. [Online] Available at: [domusweb.it/en/architecture/gallery/2021/01/25/paolo-asti-brings-the-historic-tirrena-tower-in-piazza-liberty-milan-back-to-life.html](http://domusweb.it/en/architecture/gallery/2021/01/25/paolo-asti-brings-the-historic-tirrena-tower-in-piazza-liberty-milan-back-to-life.html) [Accessed 22 March 2022].
- Coppa, A. and Tenconi, L. (eds) (2015), *Grattanuvole – Un secolo di grattacieli a Milano*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna.
- Del Curto, D. (2015), “La Torre Galfa di Milano – Cosa resta del Novecento”, in *Ananke*, n. 75, pp. 107-115.
- Egg, A. L. (1998), “Commerzbank-gratte-ciel écologique”, in *Architecture Intérieure Créée*, n. 284, pp. 86-91.
- Gemme, A. (2021), “Il nuovo Bosco Verticale di Milano che sorgerà sul Naviglio”, in *Milano today*, 10/04/2021. [Online] Available at: [milanotoday.it/attualita/nuovo-bosco-verticale-2021-.html](http://milanotoday.it/attualita/nuovo-bosco-verticale-2021-.html) [Accessed 22 March 2022].
- Ghiacci, S. (2013), “Klima Hotel Milano Fiere – Focus Green”, in *arketipomagazine.it*, 06/06/2013. [Online] Available at: [arketipomagazine.it/klima-hotel-milano-fiere-focus-green/](http://arketipomagazine.it/klima-hotel-milano-fiere-focus-green/) [Accessed 22 March 2022].
- Giacomella, E. and Valagussa, M. (2015), *Vertical greenery – Evaluation the High-Rise Vegetation of the Bosco Verticale*, Council on Tall Buildings and Urban Habitat, Chicago. [Online] Available at: [store.ctbuh.org/index.php?controller=attachment&id\\_attachment=32](http://store.ctbuh.org/index.php?controller=attachment&id_attachment=32) [Accessed 22 March 2022].
- Giovanna, F. (2018), “Torre Bonnet – Nuovo smart building nello skyline milanese”, in *Architettura Ecosostenibile*, 01/10/2018. [Online] Available at: [architetturaecosostenibile.it/architettura/progetti/torre-bonnet-smart-building-165](http://architetturaecosostenibile.it/architettura/progetti/torre-bonnet-smart-building-165) [Accessed 22 March 2022].
- Jakob, M. (2020), “Grattacieli e Giardini”, in *Doppiozero*, 09/09/2020. [Online] Available at: [doppiozero.com/rubriche/7055/202009/grattacieli-e-giardini](http://doppiozero.com/rubriche/7055/202009/grattacieli-e-giardini) [Accessed 22 March 2022].
- Lombardini22 (2017), “In verticale – La nuova Torre Sasseti”, in *Ingenio*, 07/12/2017. [Online] Available at: [ingenio-web.it/18444-in-verticale-la-nuova-torre-sasseti](http://ingenio-web.it/18444-in-verticale-la-nuova-torre-sasseti) [Accessed 22 March 2022].
- Marcomin, F. (2021), “Il progetto di un bosco verticale nella periferia di Milano”, in *milanocittastato.it*, 17/07/2021. [Online] Available at: [milanocittastato.it/real-estate/il-progetto-di-bosco-verticale-nella-periferia-di-milano/](http://milanocittastato.it/real-estate/il-progetto-di-bosco-verticale-nella-periferia-di-milano/) [Accessed 22 March 2022].
- Mario Cucinella Architects (2017), “Un progetto di massima efficienza per la nuova sede del Gruppo Unipol”, in *Ingenio*, 24/07/2017. [Online] Available at: [ingenio-web.it/6962-mario-cucinella-architects-un-progetto-di-massima-efficienza-per-la-nuova-sede-del-gruppo-unipol](http://ingenio-web.it/6962-mario-cucinella-architects-un-progetto-di-massima-efficienza-per-la-nuova-sede-del-gruppo-unipol) [Accessed 22 March 2022].
- Marzullo, B. (2017), “Il Bosco Verticale va in Cina – A Nanchino il primo grattacielo verde, progettato da Stefano Boeri Architetti”, in *Living | Corriere della Sera*, 02/02/2017. [Online] Available at: [living.corriere.it/architettura/il-bosco-verticale-va-in-cina/](http://living.corriere.it/architettura/il-bosco-verticale-va-in-cina/) [Accessed 22 March 2022].
- Masera, G. (2010), “Torri Garibaldi a Milano – Risana-mento conservativo con impianti ad alta efficienza energetica”, in *I Quaderni di Edilio*, vol. 13, pp. 7-15. [Online] Available at: [issuu.com/edilio/docs/quaderno13\\_efficienza](http://issuu.com/edilio/docs/quaderno13_efficienza) [Accessed 22 March 2022].
- Menaldo, P. (2014), “Premiato il Bosco Verticale – È il grattacielo più bello del mondo – Le due torri green disegnate da Boeri Studio vincono l’International Highrise Award 2014”, in *Living | Corriere della Sera*, 19/11/2014. [Online] Available at: [living.corriere.it/architettura/bosco-verticale-milano-international-highrise-award-2014-50122786199/](http://living.corriere.it/architettura/bosco-verticale-milano-international-highrise-award-2014-50122786199/) [Accessed 22 March 2022].
- Mezzi, P. (n.d.), “La Torre Parko di Saronno di Park Associati”, in *infobuild*. [Online] Available at: [infobuild.it/progetti/torre-parko-saronno-park-associati/](http://infobuild.it/progetti/torre-parko-saronno-park-associati/) [Accessed 22 March 2022].
- Milan, L. (2021), “Stefano Boeri per il Pirellino – Protagonisti della rigenerazione urbana di Milano Porta Nuova”, in *teckoring*, 12/02/2021. [Online] Available at: [teckoring.com/news/green-building/stefano-boeri-pirellino-rigenerazione-urbana-milano/](http://teckoring.com/news/green-building/stefano-boeri-pirellino-rigenerazione-urbana-milano/) [Accessed 22 March 2022].
- Modulo Board (2018), “Una nuova vita per la Torre Galfa”, in *Modulo*, n. 411, pp. 10-13.
- Piano, R. and Rolando, A. (2017), *Il grattacielo Intesa Sanpaolo*, Antiga Edizioni, Crocetta del Montello.
- Pomeroy, J. (2013), *The Skycourt and skygarden – Greening the urban habitat*, Routledge, London.
- Purini, F. and Thermes, L. (2006), “Torre Eurosky”, in *Area*, 86, pp. 144-149.
- Rossin, M. (2019), “Monza – Ecco il piccolo Bosco verticale di Stefano Boeri per l’area di via Foscolo”, in *Il Cittadino*, 29/03/2019. [Online] Available at: [ilcittadinomb.it/stories/Cronaca/monza-ecco-il-piccolo-bosco-verticale-di-stefano-boeri-per-larea-di-via-foscol\\_1306673\\_11/](http://ilcittadinomb.it/stories/Cronaca/monza-ecco-il-piccolo-bosco-verticale-di-stefano-boeri-per-larea-di-via-foscol_1306673_11/) [Accessed 22 March 2022].
- Sarfatti, M. (2020), “Giardini verticali e facciate verdi – È la ‘Treetopia’ utopia delle città costruite intorno alle piante”, in *Corriere della Sera*, 24/05/2020. [Online] Available at: [corriere.it/pianeta/2020/05/24/giardini-verticali-facciate-verdi-treetopia-utopia-citta-costruite-intorno-piante-6e905df0-9d10-11ea-a31e-977f755d9d62.shtml](http://corriere.it/pianeta/2020/05/24/giardini-verticali-facciate-verdi-treetopia-utopia-citta-costruite-intorno-piante-6e905df0-9d10-11ea-a31e-977f755d9d62.shtml) [Accessed 22 March 2022].
- Savelli, F. (2021), “Torre Velasca riparte con Milano – Si alza il velo sul primo restyling del grattacielo”, in *Corriere della Sera*, 22/06/2021. [Online] Available at: [corriere.it/economia/casa/21\\_giugno\\_22/torre-velasca-riparte-milano-si-alza-velo-prim-restyling-grattacielo-a9cf29a4-d2b7-11eb-9207-8df97caf9553.shtml](http://corriere.it/economia/casa/21_giugno_22/torre-velasca-riparte-milano-si-alza-velo-prim-restyling-grattacielo-a9cf29a4-d2b7-11eb-9207-8df97caf9553.shtml) [Accessed 22 March 2022].
- Scalco, C. (2017), “Hotel VIU Milan – Arassociati”, in *arketipomagazine.it*, 23/06/2017. [Online] Available at: [arketipomagazine.it/hotel-viu-milan-arassociati/](http://arketipomagazine.it/hotel-viu-milan-arassociati/) [Accessed 22 March 2022].
- Scalisi, F. (2021), “Adaptive facade and Phase Change Materials (PCMs) – A Sustainable approach for building construction”, in Scalisi, F. (ed.), *From mega to nano – The complexity of a multiscale approach*, Palermo University Press, Palermo, pp. 44-69. [Online] Available at: [unipapress.com/adaptive-facade-and-phase-change-materials-pcms-a-sustainable-approach-for-building-construction/](http://unipapress.com/adaptive-facade-and-phase-change-materials-pcms-a-sustainable-approach-for-building-construction/) [Accessed 20 April 2022].
- Simson, A. (2020), “The urban forest of the future – How to turn our cities into Treetopias”, in *The Conversation*, 21/04/2020. [Online] Available at: [theconversation.com/the-urban-forest-of-the-future-how-to-turn-our-cities-into-treetopias-134624](http://theconversation.com/the-urban-forest-of-the-future-how-to-turn-our-cities-into-treetopias-134624) [Accessed 22 March 2022].
- Stefano Boeri Architetti (n.d.), “Trudo Vertical Forest”, in *stefano-boeri-architetti.net*. [Online] Available at: [stefano-boeri-architetti.net/en/project/trudo-vertical-forest/](http://stefano-boeri-architetti.net/en/project/trudo-vertical-forest/) [Accessed 22 March 2022].
- Talignani, G. (2021), “Il bosco verticale non fa il grattacielo ‘green’, la città sostenibile ha case basse”, in *La Repubblica*, 30/08/2021. [Online] Available at: [repubblica.it/green-and-blue/2021/08/30/news/meglio\\_la\\_villetta\\_del\\_grattacielo\\_se\\_la\\_citta\\_e\\_densamente\\_popolata-315867877/](http://repubblica.it/green-and-blue/2021/08/30/news/meglio_la_villetta_del_grattacielo_se_la_citta_e_densamente_popolata-315867877/) [Accessed 22 March 2022].
- Wood, A. and Henry, S. (eds) (2016), *Best Tall Buildings – A global overview of 2016 skyscrapers*, CTBUH, The images Publishing Group, Chicago.
- Zaffi, L. and D’Ostuni, M. (2020), “Città metaboliche del futuro – Fra Agricoltura e Architettura | Metabolic cities of the future – Between Agriculture and Architecture”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 8, pp. 82-93. [Online] Available at: [doi.org/10.19229/2464-9309/882020](http://doi.org/10.19229/2464-9309/882020) [Accessed 20 April 2022].
- Zappa, G. (n.d.), *Il Bosco Verticale – Da Milano un’utopia concreta per il mondo*, in *infrajournal.com*. [Online] Available at: [infrajournal.com/it/w/il-bosco-verticale-da-milano-un-utopia-concreta-per-il-mondo](http://infrajournal.com/it/w/il-bosco-verticale-da-milano-un-utopia-concreta-per-il-mondo) [Accessed 22 March 2022].



## ORDINE, COMPLESSITÀ, MISURA Il progetto tra architettura e natura

## ORDER, COMPLEXITY, MEASURE The project between architecture and nature

Antonella Falzetti, Ina Macaione, Vera Autilio

### ABSTRACT

Il contributo intende dimostrare come le moderne tecnologie, comprese quelle provenienti da consuetudini consolidate, oggi dominio di possibilità, si sono orientate verso i nuovi orizzonti del costruire con 'coscienza ecologica', evitando un ritorno acritico alla natura, come modello salvifico, da imitare ed evocare, magari con operazioni formali e di superficie. Il contributo riporta alcune esperienze progettuali dissimili che, pur partendo da premesse diverse, sviluppano soluzioni sperimentali che identificano la natura come principio da interpretare attualizzandone le regole. Tra queste un prototipo di micro-design urbano che incorpora processi vegetali, integra natura verde e tecnica costruttiva e genera benefici estetici e funzionali, e alcuni progetti di matrice indigena significativi per l'attuazione di una simbiosi tra natura e architettura nell'ambiente costruito.

The paper aims to show how modern technologies, including those coming from established habits – today with great possibilities – have shifted towards new building horizons with an 'ecological conscience', avoiding uncritically referring to nature as a salvific model, to be imitated and evoked, perhaps with formal and superficial operations. The paper contains some varied project experiences. Even though the projects start from different premises, they develop experimental solutions identifying nature as a principle to elaborate by updating its rules. Among these, we find both a prototype of urban micro-design that incorporates vegetal processes and rules its aesthetic and functional benefits, where nature is integrated into the building technique, and projects with an indigenous origin important for the implementation of the symbiosis between nature and architecture in the built environment.

### KEYWORDS

architettura, tecnologie innovative, bio-design, design biofilico, natura e saperi

architecture, innovative technologies, bio-design, biophilic design, nature and knowledge

**Antonella Falzetti**, PhD Architect, is a Full Professor at the Department of Civil Engineering and Computer Engineering of 'Tor Vergata' University of Rome (Italy). She carries out research on the connection between project and modification of new urban landscapes and applied research on adaptive and sustainable micro-architectures (technique, human centre design and digital technologies). Mob. +39 320/42.23.354 | E-mail: falzetti@ing.uniroma2.it

**Ina Macaione**, Architect, is an Associate Professor at the Department of European and Mediterranean Cultures, Environment, and Cultural Heritage (DiCEM) at the University of Basilicata (Italy). Scientific Coordinator of NatureCityLAB, she carries out research in the field of urban regeneration, landscape and public space project in an eco-sustainable key. Mob. +39 329/36.06.198 | E-mail: ina.macaione@unibas.it

**Vera Autilio**, Architect and PhD, is a Designer at the BrookMcIlroy Studio in Toronto (Canada). She carries out her research activity in Italy, China and Canada on urban and landscape design. Mob. +39 338/43.96.515 | E-mail: vera.autilio@gmail.com

'Natura' è uno dei termini più ambigui in cui sia dato imbattersi; la stessa ambiguità si presenta quando si opera nel progetto e ancor più quando il progetto è un progetto di architettura poiché, in questo caso, la legittimazione del fatto architettonico, in termini di qualità formali e di soluzione dei problemi, non dipende dal suo ritorno mimetico all'antefatto naturalistico che, di per sé, non costituisce una forma di garanzia e neppure dall'introduzione di quote di eco-sostenibilità assunte come simbolo (verde, albero foresta) innestate o sovrapposte agli svolgimenti progettuali-figurativi in un crescendo allusivo che, troppo frequentemente, sostituisce la potenza delle immagini come simbolo alla sostanza di una ricerca trasmissibile (Dewey, 1949). Questo contributo intende dimostrare come le moderne tecnologie, ivi comprese quelle provenienti da consuetudini consolidate, che oggi si offrono come un dominio di possibilità, si sono orientate verso i nuovi orizzonti del costruire con 'coscienza ecologica', evitando il facile cortocircuito che nasce da un ritorno acritico alla natura, intesa come blocco ideologico e modello salvifico, da imitare ed evocare, magari con operazioni formali e di superficie.

Alla luce di questa premessa, il contributo riporta alcune esperienze progettuali dissimili per origine ma orientate alla medesima finalità. Pur muovendo da antefatti culturali e sociali diversi si evidenziano soluzioni sperimentali che identificano la natura non come falsariga da emulare, ma come principio da interpretare attualizzando le regole. Si presentano due modalità di ricerca. La prima esperienza si distacca dal debito con il passato e tiene insieme l'eterogeneità delle conoscenze che procedono insieme grazie a una forma di 'intelligenza connettiva' (Granata, 2021). In questa prospettiva l'ascolto del passato non è utile premessa all'innovazione: questa, piuttosto, ha necessità di muoversi in territori inesplorati, in un'assoluta (da 'ab-solutus', libero da) proiezione ideativa, dove si ridefiniscono i ruoli, le competenze, gli ambiti di intervento. È un ampliamento e una revisione di campo che interviene sul modo di pensare l'architettura, sul meccanismo ideativo d'insieme che non è separabile dalle tecnologie che lo sostengono.

Questa esperienza è connotata da una distintiva progettualità e sperimentality, al fine di interpretare e di trovare soluzioni aggiornate a un problema urgente, ormai ineludibile: la sostituzione di un dialogo tra l'ambiente urbano, la natura e il paesaggio. Si tratta di riannodare i fili di un equilibrio interrotto tra elementi naturali e spazio dell'architettura, integrando le possibilità di sviluppo di una materia vivente con le rigidità dell'artificio. A questo ambito di indagine si lega una figura di progettista che tenta di reinventare i luoghi partendo dall'esistente senza forzare un dialogo con le tracce del passato, spinto dalla volontà di liberare il momento ideativo, osare soluzioni che si esprimono nello spazio aperto coniugando l'idea di bello e di utile con nuove condizioni di benessere.

La seconda esperienza è generata da una ricapitolazione delle tecniche e dei saperi tradizionali, i quali, pur restando ancorati a condizioni culturali e storiche locali, offrono spunti di interesse per una loro operatività in contesti e condizioni radicalmente differenti (Watson, 2019).

La migrazione delle buone tecniche del passato e delle virtuose culture locali viene inquadrata nella sua originaria eterogeneità rispetto alla condizione presente e viene messa a confronto con nuovi e inediti problemi. A questa realtà operativa si collega la figura dell'architetto indigeno, il quale è costitutivamente in sintonia con le risorse locali, delle quali conosce possibilità e condizioni di efficacia. Le sue tecniche non forzano le risorse disponibili in quanto derivano dall'intelligenza dell'adattamento al dato naturale. Possiamo anche dire che il suo arcano magistero è conforme alle possibilità della sua origine; in questo senso è la natura stessa a suggerire i canoni della sua progettualità.

#### **Natura verde come antefatto calcolabile del progetto**

Da più parti, e in ambienti separati dalle discipline dell'architettura, si registrano interessanti sviluppi conoscitivi che potenziano le prospettive euristiche attraverso le quali la 'natura' diventa pensabile e riconducibile alle pratiche di un design sostenibile. Si tratta di un procedimento insieme operativo e teorico, nel quale si riconoscono quei ricercatori-progettisti impegnati in una progettualità ispirata alla natura, aderente a una dimensione concettuale non dogmatica, che intende costruire con essa un reciproco rapporto di integrazione e di adattamento. Qualcosa che ha a che fare non con l'imitazione, ma con un'idea di struttura e di sistema che si specializza nella messa a fuoco di aspetti parziali i quali comportano pur sempre uno sguardo rivolto alla sostanza dell'architettura, alla sua capacità di rinnovarsi partendo dall'idea che il tutto può essere intuito e fatto emergere a partire da quel potenziale inespresso che le parti custodiscono.

Un principio questo che ha portato molte ricerche e sperimentazioni a confrontarsi, contemporaneamente, con le frontiere del biodesign, delle scienze biologiche, del design biofilico nella direzione di un'architettura 'per gli altri', per il nostro tempo, per il benessere e per la società (Myers, 2018). L'interazione tra queste discipline ha imposto processi che si misurano costantemente con uno sviluppo ideativo capace di concentrarsi su aspetti inizialmente parziali ma che, guardando sempre al fondamento dell'architettura, riconducono l'antefatto naturalistico-vegetazionale nel dominio dei dati valutabili e misurabili del progetto.

A questa dimensione ideativa-operativa appartengono le premesse teoriche sopra delineate. L'itinerario di queste ricerche progettuali è caratterizzato da un movimento meditante del pensiero, capace di interrogarsi criticamente sulla produttività di una ibridazione architettura-natura guidata certo da valori estetico visibilistici, ma che è controllato da una 'intelligenza calcolante' che nella natura vivente riconosce e isola ciò che è potenzialmente accertabile e conoscibile (Valle, 2011). L'idea di una collaborazione pertinente, per non dire simbiotica, tra natura vivente e architettura, è una ipotesi di lavoro circoscritta che si attiene «[...] alla natura, a quanto è di semplice in essa, alle piccole cose, che uno vede appena e che in maniera così impreveduta possono divenire grandi e incommensurabili» (Rilke, 1980, p. 20).

Non è solo arte e non è solo scienza: i mo-

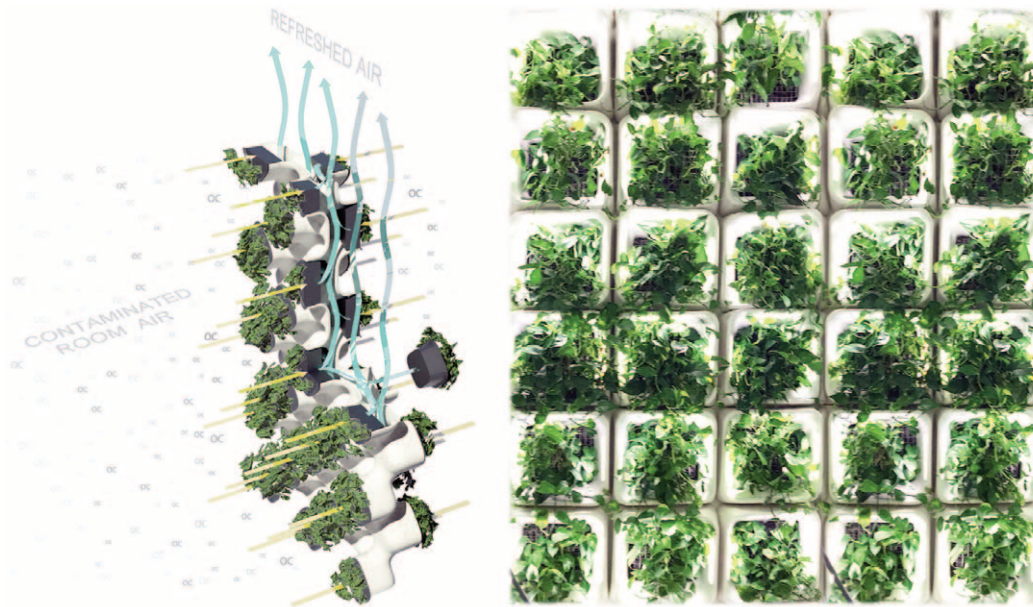
delli di indagine ai quali facciamo riferimento si strutturano come un processo, controllato da statuti scientifici, che crea le premesse per una progettualità dal carattere speciale, innovativa e sperimentale, dove il progetto è assunto come prodotto di ricerca e la natura-vegetazione indagata come 'antefatto calcolabile' di soluzioni architettoniche, certamente sostenibili, sottoposte alle verifiche di una sperimentazione trasmissibile. Qui l'oggettivazione della natura non si esaurisce nel solo esercizio del rappresentare, in quanto presuppone il controllo scientifico delle sue leggi «[...] calcolandone anticipatamente il corso futuro [e] completandone il corso passato» (Heidegger, 1968, p. 74): è quanto si intende con l'espressione 'antefatto calcolabile del progetto'. La natura, inquadrata nella regione circoscritta del verde-piante-vivente, diviene così materia per una rappresentazione esplicativa, che si risolve in modelli operativi applicabili sia alle aree della città sia ai suoi volumi architettonici.

In questa particolare comunità di ricercatori-progettisti, l'indagine conoscitiva, vincolandosi a un determinato dominio, concepisce un definito piano di fenomeni naturali ai quali si applica, mentre, simmetricamente, istituisce modelli di spiegazione attraverso i quali operare. Tali modelli hanno le proprietà distintive della fisica, della chimica, della biologia e, in un senso più profondo, rendono trasparente l'opacità del reale applicando in un modo caratteristico una 'matematica' ben determinata, sottesa al controllo di parametri oggettivi. Appartengono a questa categoria quelle soluzioni che integrano, attraverso le piante, la produzione di energia con l'architettura, come il Filene's Eco Pods, o quelle che associano all'immagine architettonica sistemi di depurazione dell'aria, come l'Active Modular Phytoremediation (Gerfen, 2009; Fig. 1).

Queste proposte, interpretate dal punto di vista dell'architetto progettista, hanno in comune la modularità, intesa come dato di base, principio genetico di future mutazioni alle quali la stessa architettura si sottomette. La loro somma diventa linguaggio architettonico, il modulo è la parte numericamente attiva e fattore di metamorfosi controllate; ci si riferisce ad oggetti che rispondono contemporaneamente alla ricerca di una qualità estetica, che metabolizza e incorpora gli aspetti naturali della modificazione e del rinnovarsi delle forme, oggetti nei quali l'architettura è pensata come 'infrastruttura', che si rinnova durante il ciclo delle stagioni attraverso i processi di crescita e l'individuazione di dati pre-stazionali di base

#### **Oasi High-Tech: architettura e micro dimensioni urbane**

Si presenta brevemente, qui di seguito, il procedimento Oasi High-Tech (OHT), un esempio di integrazione tra gli aspetti sopra indagati e le prerogative di una micro-architettura urbana che incorpora processi biologici, ne governa i benefici sia sul piano estetico che funzionale, produce un microclima controllato (Crum, Shiflett and Jenerette, 2017). Le OHT sono micro architetture scalabili che nascono come oasi di freschezza, con spazi minimi ergonomicamente progettati, attrezzati con arredi minimali, tecnologie digitali di controllo, dispositivi integrati di produzione di energia. Progettate per creare piccoli luoghi urbani, essenziali, funzionali, sim-



**Fig. 1** | Active Modular Phytoremediation System (AMPS) (2019), Center of Ecosystems + Architecture, Yale University: Operation diagram of the green wall system and application on a wall (credit: Yale CEA, PSACII, Yale CEA/FABS).

bioticamente concepite con la natura verde, le oasi OHT incorporano un modello innovativo basato sul controllo e sulle previsioni dei vantaggi e delle prestazioni, costantemente verificate nella loro progressione evolutiva, che deve rispondere nella lunga durata alle proprie funzioni e ai propri fini.

Il modello sperimentale OHT è il prodotto di una ricerca applicata, caratterizzata da uno spiccato contenuto architettonico, che coinvolge competenze trasversali, dove sono studiate e sviluppate architetture ibridate con la natura-vegetazione che coinvolgono anche il fruitore e il suo stato fisico-mentale, in quanto esso stesso diventa 'parte' attiva in un processo comportamentale, favorendo la relazione tra le persone. È un oggetto urbano organizzato e composto da elementi funzionali, nei quali la vegetazione viene anticipatamente valutata come presupposto che indirizza le scelte progettuali e che entra in sinergia con il soggetto vivente, assunto come destinatario attivo che produce, a sua volta, dati e flussi di informazioni (Offenhuber and Ratti, 2014), oltre a quelli strettamente legati al controllo della qualità dell'aria (Figg. 2, 3).

Il progetto si sviluppa intorno a geometrie ispirate agli organismi naturali. I componenti modulari sono assimilabili a fusti d'albero ma, allo stesso tempo, sono l'elemento costruttivo (mattoncino verticale) con cui vengono assemblati gli OHT nelle diverse configurazioni e dimensioni. Essi rappresentano il dato oggettivo che permette di raggiungere l'essenza di una naturalità attraverso un 'artificio vegetazionale' che non si limita alla sovrapposizione, ma che è lui stesso la parte che produce una simbiosi integrale dove il 'soggetto vivente', la vegetazione, utilizza una struttura inanimata (funzionalmente e fisicamente definita nelle sue caratteristiche tecnico-architettoniche) come il suo stesso scheletro biologico. Questa sintesi viene raggiunta grazie alla tecnologia brevettata InDiesis<sup>1</sup>, capace di fondare architetture per un nuovo immaginario organico nella città, dove l'uso del verde è il dato inserito nel processo progettuale, non per sovrapposizione quanto piuttosto

per la sua potenza generativa, in quanto esso stesso produttivo di un'idea di architettura e della sua sostanza tecnologica (Fig. 4).

In questa invenzione, la collaborazione con la natura vivente ha istituito con l'architettura un rapporto di reciproco e benefico scambio, in cui entrano in gioco le dimensioni del tempo e della modificazione unitamente alla sostanza tecnologica e alle anticipazioni ideative del progetto, incorporando le condizioni della propria trasformabilità. Nella visione organica di questa architettura di processo, la vegetazione è il fattore 'efficiente' sia in termini ambientali che di benessere fisico (Fig. 5). Stiamo ragionando su un problema ben delimitato ed attuale: il rapporto tra architettura e benessere è una condizione fondamentale del vivere e lavorare in un ambiente urbano. Le nostre argomentazioni sulle condizioni di 'utilità' dell'artificio comportano una revisione di alcune categorie fondative del rapporto tra architettura e bisogni; tra questi il bisogno 'originario' di sentirsi in armonia con la natura costituisce un obiettivo essenziale.

Muovendosi in ambienti disciplinari eterogenei, quali la sociologia, la biologia e l'ecologia sociale, la ricerca in architettura e le sue tecnologie correlate si caratterizzano come indagine sulle regole e sulle metodologie estrapolabili dalla natura per un progetto che sia migliorativo delle nostre condizioni di benessere e di salute. Sotto questa angolazione la sperimentazione qui avanzata, rappresentata dagli OHT, ipotizza un partenariato con l'antefatto naturalistico e si assume la responsabilità di interpretare questo rapporto esplorando il nesso tra micro-dimensioni e macro-dimensioni. La valutazione scientifica della piccola scala (elementi base del micro-design), il controllo del dato di base e della sua reattività, costituisce l'antefatto calcolabile per i passaggi di scala. Nel procedimento ascendente verso scale di ordine superiore (oggetto urbano, architettura, spazio pubblico) si determina una progressione ideativa dotata di autonome concettualizzazioni e figure che inventa nuovi luoghi urbani (Fig. 6). Lavorare con oggetti con-

trollati nelle loro micro-dimensioni, ma portatori di regole, linguaggi, meccanismi di progetto sviluppabili in forme non predeterminate, significa esplorare equilibri formali e architettonici ancora da trovare. Ciò restituisce nuove prospettive all'alleanza progetto-materia vivente, che possono procedere in direzioni non scontate e non preordinate.

### Il grande nel piccolo<sup>2</sup>: il Biophilic Design dei nativi canadesi

Sono altrettanto interessanti, per i nostri ragionamenti, gli insegnamenti provenienti dalle culture della costruzione locale incentrate sulla fertile esperienza dei nativi canadesi. Nate in contesti materiali e di pensiero profondamente lontani dalla nostra contemporaneità, tali 'culture del costruire' appartengono a un mondo prescientifico, valutabile sul piano degli effetti e sulle corrispondenze organiche con il dato 'naturalistico' di partenza. Esse sono di fatto esemplari sul piano della sostenibilità, in quanto rappresentative di una condizione di equilibrio tra necessità e consumo, tra natura e genere umano, di una cultura che ha contenuto l'impatto antropico sulla natura, senza compromettere le esigenze delle proprie generazioni future.

L'attenzione verso i saperi costruttivi dei nativi canadesi deriva dal riconoscimento di un valore immateriale che si avvicina alla ricerca sul design biofilico. Questo loro intrinseco rapporto con gli elementi naturali, che si esplicita anche in capacità costruttiva, diviene per noi, nominabile in virtù di un'idea non derivata deterministicamente dalle manifestazioni della loro sapiente operatività, ma come anticipazione e prospettiva per future sperimentazioni architettoniche basate sulla interazione tra tradizione e nuove tecnologie.

Alla base della concezione del mondo delle tradizionali culture dei nativi americani c'è la storia della creazione, in cui animali e paesaggi collaborano per aiutare l'umanità a stabilirsi sulla terra. Un principio di reciprocità tra esseri umani, creature e terra è quindi alla base delle 'dottrine' native (Robinson, 2018). Significativamente unificate da tratti culturali condivisi, queste 'culture', pur differenziate nella loro varietà e appartenenza a differenti stili di vita, sono sostenibili nella loro essenza e nella lunga durata della loro storia, segnata da secoli di convivenza positiva con l'ambiente (Watson, 2019). Questa naturale sostenibilità incorporata nelle culture indigene è stata riconosciuta dalle Nazioni Unite nell'Agenda per lo Sviluppo Sostenibile 2030 (UN, 2015) nella quale si promuove la consultazione delle comunità indigene per l'attuazione di programmi sul territorio volti alla valutazione dell'impatto ambientale dei progetti.

Sulla scia di questa innovazione tecnico-culturale, lo studio canadese Brook McIlroy ha fondato nel 2015 un Indigenous Design Studio<sup>3</sup>, quale esempio di come elementi culturali e modelli operativi di matrice indigena possano assumere un ruolo e impartire un insegnamento per una simbiosi tra natura e architettura nell'ambiente costruito. Una sfida che si inserisce nel contesto del complesso processo della riconciliazione culturale canadese, attualmente in corso<sup>4</sup>, nella quale sono già in atto esperienze di architettura per la città alla piccola e media scala, fondate sul coinvolgimento delle comunità na-

tive a supporto di una visione progettuale condivisa attraverso processi partecipati.

La programmazione della governance canadese, relativa alle realtà indigene e alla sostenibilità ambientale, ha accelerato il diffondersi di soluzioni 'green' in architettura<sup>5</sup>. L'esperienza dello studio multidisciplinare BrookMcIlroy, originariamente non indigeno, ma fortemente attivo nella progettazione integrata e sostenibile, assume in questo contesto un ruolo pilota in cui, progettisti/architetti indigeni collaborano con lo studio, raggiungendo interessanti risultati progettuali nei campi dell'architettura e della progettazione del paesaggio. L'evoluzione del modo di operare dello studio si riconosce nelle complesse operazioni di co-progettazione attivate con le comunità indigene e con gli stessi architetti nativi, nelle quali si elaborano linee guida congruenti e itinerari metodologici per un design contemporaneo, ispirato alla natura.<sup>6</sup>

Tra le esperienze più innovative che guardano alla sostanza della progettazione 'multiculturale', risulta importante citare il Found Form Lab (FFL), istituito nel 2021 in collaborazione con il Laboratorio di Fabbricazione Digitale della Ryerson University<sup>7</sup>. In questa occasione gruppi dello studio sperimentano nuove modalità di lavoro, partendo dalla scelta dei tronchi che i nativi selezionano in base alle specie, alla stagione, alle fasi lunari e alla posizione delle piante, e dalle loro tecniche di taglio. A questa fase preliminare segue la progettazione parametrica e il taglio digitale per la produzione dei componenti di costruzione con un 'linguaggio' controllato, misurabile e riproducibile. La specificità di questi processi rimanda a una visione che integra la dimensione operativa dell'artigianato con sofisticate tecnologie di controllo, ma, allo stesso tempo, promuove l'interazione con forme di arte ed espressioni figurative. Un caso specifico sviluppato in collaborazione con l'FFL è la realizzazione di elementi lignei lavorati seguendo un pattern musicale che riproduce il suono dei tamburi nell'esecuzione di una canzone tradizionale indigena. L'uso dell'elemento naturale visivamente non trattato e realizzabile grazie alle nuove tecnologie di lavorazione è un elemento innovativo che amplifica le potenzialità del progetto, fondendo la tecnologia moderna e la conoscenza indigena per creare nuove forme di narrazione (Fig. 7).

### Due esempi di artificio tra natura, tradizione e simbolo

L'interesse per l'ambito delle sperimentazioni di procedimenti euristici orientati alla messa in valore delle culture costruttive dei nativi canadesi, e della loro riconosciuta capacità di assumere la natura nelle sue forme spontanee, costituisce il punto di partenza per uno specifico terreno progettuale: quello della micro e macro dimensione urbana. Ci si riferisce, in questa contingenza, a una selezione tipologica di architetture all'aperto, padiglioni concepiti come un luogo per gli 'altri'. Piccoli modelli simbolo per la loro risonanza spirituale e per la coesistenza pacifica con il mondo naturale, alla ricerca di un benessere fisico e trascendente, spesso inseriti all'interno di più ampi progetti di riqualificazione.

Nel 2006 la BrookMcIlroy è stata incaricata della progettazione per la trasformazione delle ex aree industriali sul lungo lago della città di

Thunder Bay in Ontario, attraverso l'attuazione di un complesso Programma che comprende edifici di servizio, spazi pubblici e la riqualificazione ambientale di un tratto di litorale. Il progetto è stato concepito e realizzato integrando le diverse storie culturali della città, consultando le comunità, scegliendo materiali del luogo e coinvolgendo le maestranze locali<sup>8</sup> (Brook, 2014). Il progetto di landscape si completa con l'inserimento di uno Spirit Garden, un luogo di condivisione dove sono ubicati diversi spazi la cui identità pubblica è demandata sia alla forza comunicativa dell'arte sia a quella espressiva dell'architettura; uno spazio circolare posizionato per essere visibile dalla città e godere di una visuale privilegiata sul lago e sul paesaggio.

Il circolo celebrativo nello Spirit Garden è una struttura all'aperto progettata con gli architetti indigeni. L'uso del legno curvato per questa struttura segue una tecnica costruttiva, nota agli Anishinaabe. In questa esperienza gli artigiani locali sono stati assunti per replicare il processo di taglio degli alberi e l'assemblaggio della struttura: i giovani abeti raccolti in primavera sono spogliati della corteccia, legati insieme alle estremità e piegati tramite essiccazione; i tralicci risultanti sono stati assemblati sul basamento circolare per supportare un diaframma ligneo composto da elementi lineari curvi in legno di cedro lavorato come una tessitura (Figg. 8-11). Lo spazio, rigoroso e singolare, riflette i concetti nativi del circolo inclusivo, della pacifica convivenza e del rispetto per il mondo naturale riattraversando ancora una volta, processi di adattamento delle culture e dei metodi di costruzione tramandati dalle maestranze indigene (Brook, 2014).

Nel 2015 BrookMcIlroy viene selezionato per la redazione del Masterplan del Waterfront di Collingwood. Durante le fasi di consultazione emerge la volontà delle comunità indigene locali di dotarsi di uno spazio simile a quello di Thunder Bay per eventi collettivi all'aperto, l'Awen' Gathering Circle. Il design di questo padiglione open air si sviluppa attorno ai concetti dei sette strati del Food Forest in connessione con i precetti dei sette avi (Seven Grandfather Teachings) di origine Anishanabee, basati, a loro volta, sull'idea di reciprocità e inclusione con tutti gli esseri viventi: saggezza, coraggio, rispetto, verità, onestà, umiltà, amore (SGEI, 2021). Il pensiero alla base dei sette strati del Food Forest costituisce un intimo legame fra conoscenza e gestione della foresta da parte degli indigeni, che per millenni, da queste terre, hanno tratto cibo e medicine.

La struttura portante di quest'architettura narrativa è costituita da pilastri di legno di cedro che rappresentano la foresta e sorreggono altrettante pensiline in metallo la cui immagine è la manifestazione delle chiome e le sedute, in forma di grandi sassi, rappresentano i precetti degli avi. Una interpretazione biofilica (Browning, Ryan and Clancy, 2014) dei 'sette insegnamenti', dove i progettisti connettono ogni livello del Food Forest con uno dei precetti, attivando un processo configurativo le cui geometrie si modellano generando un pattern che allude all'elemento naturale attraverso lavorazioni con tecniche di laser cutting e tecnologie altamente sofisticate (Figg. 12-14).

**Riflessioni conclusive** | Le architetture descritte nel contributo racchiudono diversi spazi di ri-

flessione, sia per la forza dei contenuti simbolici che per la loro particolare storia generativa. Ciò che emerge è la profonda, quanto spontanea, ricerca di compenetrazione tra la natura come elemento di struttura, modificabile ma non dissimulabile. Nel caso delle oasi urbane (OHT) la natura ricompare non più attraverso modelli già dati, ma è lei stessa oggetto di riscoperta, in quanto repertorio di possibilità ancora inesprese e che solo una ricerca sperimentale, fondata scientificamente e rappresentabile in risultati tecnici e architettonici compiuti, è in grado di restituire. Viceversa nel caso dei circoli celebrativi dei nativi americani emerge il legame simbiotico con la terra, quando questo è generato da una sapiente combinazione di risorse trovate e da una umana e primaria necessità. I modelli applicati, che derivano dalle due modalità sopra descritte, costituiscono dei prodotti esemplari se riguardati nella prospettiva di una spontanea e costitutiva integrazione con la natura verde e con il paesaggio che le accoglie, ma ancor di più mostrano una modalità virtuosa nelle ricerche sul greenery in architettura.

Nello scenario delle ricerche sul greenery e spazio costruito si prefigura un orizzonte operativo che ha preso coscienza della stringente necessità di indagare forme di equilibrio per un rapporto dialogante tra progetto di architettura, uso 'tecnologico e immaginifico' del verde, nell'ottica di consolidare un nuovo paradigma della città-natura, oggi a confronto con le sfide del climate change. Gli argomenti trattati nel contributo vogliono stimolare una riflessione sui nuovi attori ai quali affidare la 'riconessione con la natura' e l'invenzione di nuovi luoghi urbani, in quanto figure speciali in grado di operare in ambienti collaborativi dove le tradizionali ripartizioni dei ruoli si riuniscono in una dimensione operativa fortemen-

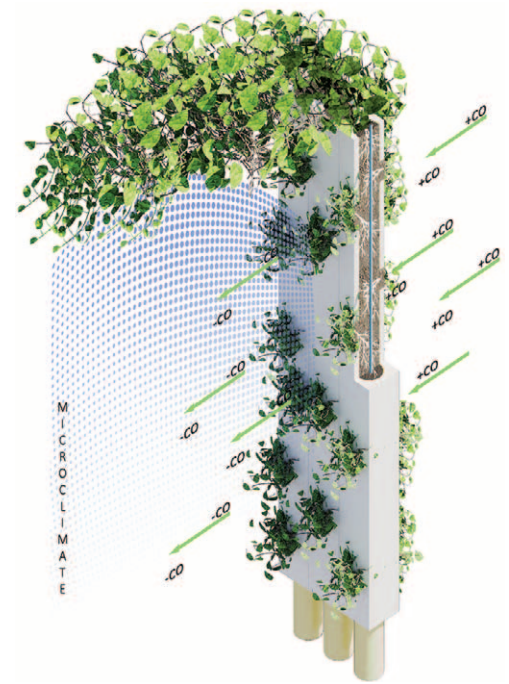


**Figg. 2, 3** | High Tech Oasis (2020), Department of Civil Engineering and Computer Engineering (DICII), 'Tor Vergata' University of Rome: Virtual pre-prototyping model, from green nature to architecture (credits: Spin-off DoT5-Lab).



Fig. 4 | OHT (2022) Botanical Garden 'Tor Vergata' University of Rome: OHT prototype (credits: Spin-off DoT5-Lab).

Fig. 5 | OHT (2021) DICII, 'Tor Vergata' University of Rome: Diagram of the advantages of using plants in OHT (credit: Spin-off Dot5-Lab).



te caratterizzata dal fattore comune della creatività, nel quale l'universo dell'arte, dell'architettura e quello della scienza si incontrano sul terreno delle tecniche e della cultura, in linea con gli obiettivi del New European Bauhaus.

Si ritiene un fattore di estremo interesse, per la sfida contemporanea sui temi inerenti alla natura verde come antefatto del progetto, riappropriarsi sia del Patrimonio delle tradizioni locali, che si dispiega prevalentemente come 'invenio', ossia come invenzione che opera in quanto intelligenza nel trovare e riconoscere, sia come 'inventio' in quanto capacità di indicare la prospettiva del nuovo su terreni non derivati da usanze costituite. Diviene fondamentale intervenire sulla forza propulsiva della 'intelligenza connettiva' tra i vari saperi, per assicurare la continuità dei processi e sostenere la crescita evolutiva delle idee. Si prospetta qui una ipotesi di buone pratiche fondata sull'integrazione, sullo sviluppo di modelli alla scala urbana flessibili e ripetibili i quali, nell'affrontare la costruzione di un artificio che ripresenta la natura nella sua trasformazione tecnologica, propongono procedimenti sempre aperti e scalabili.

'Nature' is one of the most ambiguous words you can read, especially when working on architecture projects. In this case, the legitimisation of the architecture fact, in terms of formal quality and problem-solving, does not depend on the replica of the naturalistic model. The latter is not a guarantee and does not depend on the introduction of eco-sustainability quotas intended as a symbol (green, tree, forest) grafted or superimposed on the design-figurative developments in an allusive crescendo that too often replaces the communicative power of an element that is only aesthetic (Dewey, 1949). The paper aims to show how modern technologies, including those com-

ing from established habits – today with great possibilities – have shifted towards new building horizons with an 'ecological conscience', avoiding the easy short-circuit that comes from an uncritical return to nature, intended as an ideological block and salvific model, to be imitated and evoked, perhaps with formal and superficial operations.

In the light of this introduction, the paper deals with some project experiences with different origins but with the same aim. Although starting from different cultural and social models, there are experimental solutions that identify nature not as a guideline to emulate, but as a principle to be interpreted by updating its rules. There are two search modes. The first experience detaches from the debt with the past and holds together the heterogeneity of knowledge connected thanks to a form of 'connective intelligence' (Granata, 2021). In this perspective, using the past as a reference is not a useful requirement for innovation. The latter needs to explore new territories, without an ideational projection, where roles, skills and areas of intervention are redefined. It is a field extension and revision that works on the way of thinking about architecture, on the overall creative mechanism that cannot be separated from the technologies that support it.

This experience is characterized by distinctive planning and experimentation, aimed at interpreting and finding updated solutions to an urgent and unavoidable problem: rebuilding a dialogue between the urban environment, nature and landscape. The aim is to re-establish the interrupted balance between natural elements and architectural space, integrating the possibilities to develop a living matter with the rigidity of artificiality. This field of investigation needs a designer that tries to redesign places starting from the existing elements without forcing a connection with the past, pushed by the will to free the creation process, daring to take solutions that are

expressed in the outdoor space by combining the ideas of beauty and usefulness with new conditions of well-being.

The second experience comes from traditional techniques and knowledge. They remain anchored to local cultural and historical conditions and offer meaningful insights to be used in radically different contexts and conditions (Watson, 2019). The transition of the good techniques of the past and the virtuous local cultures is due to their original heterogeneity compared to the present condition and is confronted with new and unprecedented problems. This operational situation is linked to the Indigenous architects, innately in connection with local resources, of which they know the possibilities and effectiveness conditions. Their techniques do not coerce the available resources as they derive from the intelligence of adapting to natural elements. We could say that their ancient mastery follows the possibility of their origin. In this sense, nature itself suggests the standards of their project.

**Green nature as a predictable model of the project** | Considering a different point of view and different sectors than architecture, there are interesting cognitive developments that enhance the heuristic perspectives through which 'nature' becomes thinkable and linked to the practices of sustainable design. It is both a practical and theoretical procedure, used by researchers-designers engaged in a design inspired by nature, responding to a non-dogmatic conceptual dimension, which intends to build with it a reciprocal relationship made of integration and adaptation. It is not connected to imitation, but to the idea of structure and system specialized in the focalization of partial aspects that entail looking at the essence of architecture, at its ability to renew starting from the idea that the general picture can be intuited and highlighted, and from that unexpressed potential that the parts have.

This principle led many research studies and experiments to compare, at the same time, biodesign, biological sciences, and biophilic design aimed at an architecture 'for others', contemporary, for well-being and society (Myers, 2018). The interaction between these disciplines has imposed processes that are constantly compared to an ideational development capable of focusing on initially partial aspects but which, always looking at the core of architecture, bring the naturalistic-vegetational model back into the assessable and measurable data domain of the project.

The above-mentioned theoretical premises belong to this ideational-operative dimension. The itinerary of these design research studies is characterized by a meditating movement of thought, capable of critically questioning the productivity of an architecture-nature hybridization. It is guided by visible aesthetic values, but, at the same time, it is controlled by a 'calculating intelligence', that recognizes and isolates in living nature what is potentially ascertainable and knowable (Valle, 2011). The idea of a relevant, symbiotic even, collaboration between living nature and architecture is a circumscribed working hypothesis that adheres to nature, to its simplicity, to the small things hardly noticeable, those things can unexpectedly become great and immeasurable (Rilke, 1980).

It is not just art nor just science. Our reference survey models are structured as a process, controlled by scientific statutes, creating the basis for a special, innovative and experimental design, where the project is considered a research product and nature-vegetation investigated as a 'calculable model' of architecture solutions, certainly sustainable, subjected to the verifications of transmissible experimentation. The objectification of nature does not end in the representation practice alone, as it presupposes the scientific control of its laws to calculate it in its future course in advance and complete its past course (Heidegger, 1968). This is the explanation of the 'calculable model of the project'. Nature, contextualized in the confined area of green-plants-living, becomes the material for an explanatory representation, which ends in operational models applicable both to the areas of the city and to its architectural buildings.

In this specific community of researchers-designers, the cognitive investigation, limited to a specific domain, applies to a defined plan of natural phenomena, while, symmetrically establishing explanation models for operation. These models have the unique properties of physics, chemistry, and biology and, in a deeper sense, make the opacity of reality transparent by applying well-

defined 'mathematics' in a specific way, aimed at the control of objective parameters. The solutions that integrate, through plants, energy production with architecture belong to this category, such as Filene's Eco Pods, or the solutions associating air pollution removal systems with the architectural image, such as Active Modular Phytoremediation (Gerfen, 2009; Fig. 1).

These proposals, seen from the architect-designer point of view, have modularity in common, intended as basic data, and the genetic principle of future mutations to which architecture is subject. Their cumulation becomes the architectonic language, the module is the active numerical part and controlled metamorphosis factor. We refer to objects that simultaneously respond to the search for an aesthetic quality, which metabolizes and incorporates the natural aspects of the modification and renewal of forms, objects in which architecture is conceived as 'infrastructure', renovated throughout seasons and through growth processes and the identification of basic performance data.

**High-Tech Oasis: architecture and urban micro dimensions** | We will briefly deal with the High-Tech Oasis (OHT) procedure, an example of integration between the above-studied aspects and the prerogatives of an urban micro-architecture incorporating biological processes, regulating the benefits both on an aesthetic and functional level, and producing a controlled microclimate (Crum, Shiflett and Jenerette, 2017). HTOs are scalable micro architectures conceived as relaxation oases, with ergonomically designed minimal spaces, equipped with minimal furnishings, digital control technologies, and integrated energy production devices. Designed to create small, essential and functional urban places, symbiotically imagined with green nature, the OHT oases incorporate an innovative model based on the control and predictions of advantages and performances, constantly verified in their evolution progress, which must respond in the long term to its functions and purposes.

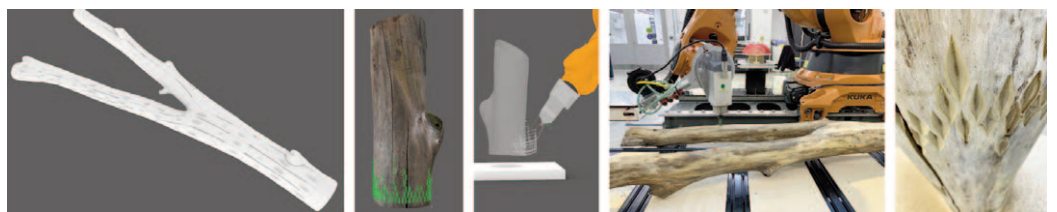
The experimental OHT method is the result of applied research, characterized by a remarkable architectonic content, involving cross-disciplinary skills where architectures hybridized with nature-vegetation are studied and developed also involving the users and their physical-mental state, as they become an active 'part' in the behavioural process, favouring the relationship between people. It is an organized urban object made of functional elements, in which the greenery is assessed in advance as a requirement that directs design choices and that enters into syn-

ergy with the living subject, intended as an active recipient who, in turn, produces data, information flows (Offenhuber and Ratti, 2014), and information strictly linked to air quality control (Fig. 2, 3).

The project is developed on geometries inspired by natural organisms. The modular components are similar to tree trunks but, at the same time, they are the building elements (vertical brick) used to assemble HTOs in different layouts and sizes. They represent the objective data that allows obtaining the essence of nature through a 'vegetational artificiality' not limited to superimposition, but producing itself a complete symbiosis where the 'living subject', the vegetation, uses an inanimate structure – functionally and physically defined in its technical-architectural characteristics – as its biological skeleton. This combination is obtained thanks to the patented InDiesis<sup>1</sup> technology. It can create architectures for new organic imagery in the city, where the use of greenery is included in the design process, not through superimposition but rather through its generative power, as it creates an idea of architecture and its technological substance (Fig. 4).

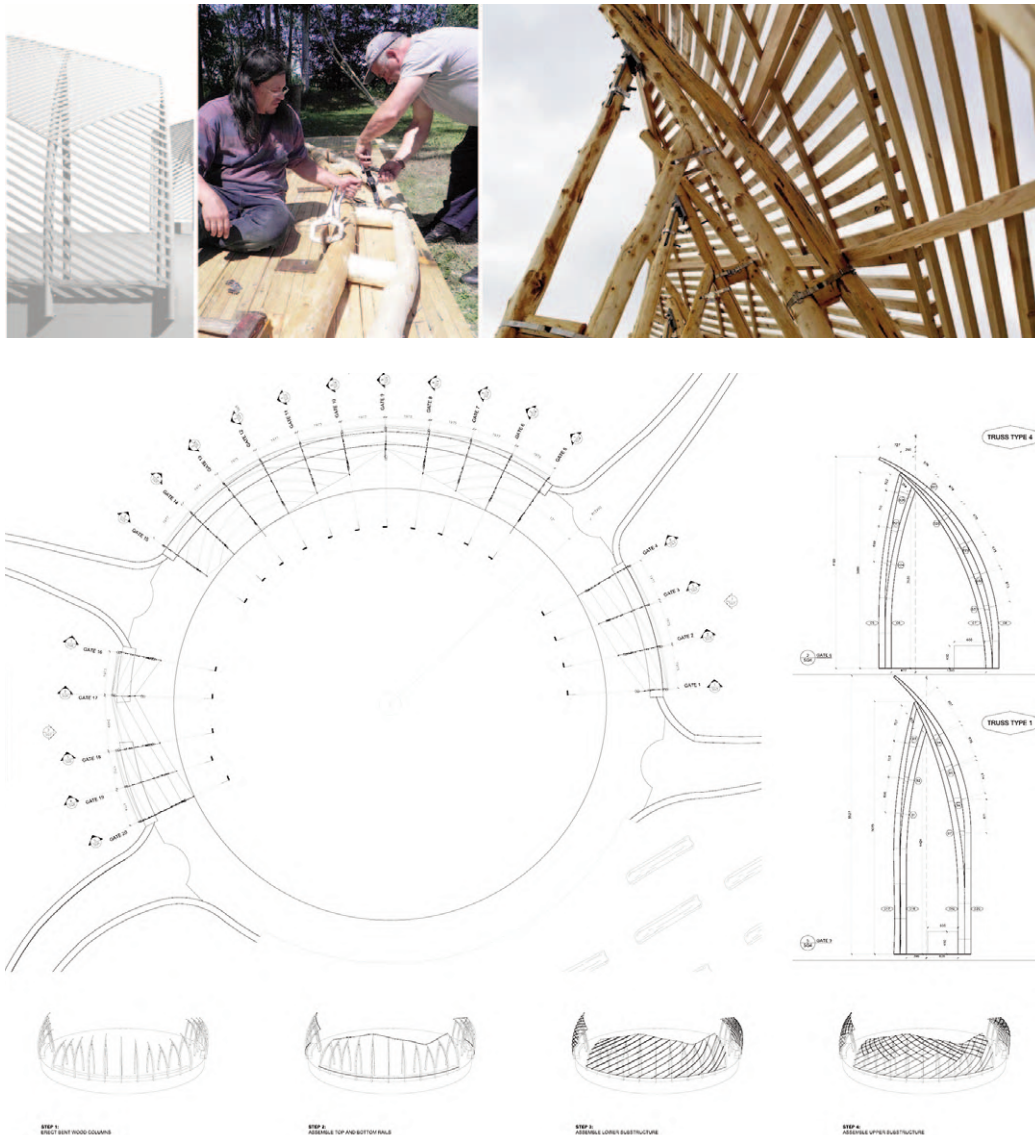
In this creation, the collaboration with living nature has created with architecture a mutual and beneficial relationship, in which the dimensions of time and modification come into play together with the technological substance and the creational previews of the project, incorporating the conditions of its transformability. In the organic view of this process architecture, vegetation is the 'efficient' factor both for the environment and the physical well-being (Fig. 5). We are talking about a specific and relevant problem: the relationship between architecture and well-being is a fundamental condition of living and working in an urban environment. Our statements on the 'benefit' of artificiality entail a review of some basic categories of the relationship between architecture and needs. One essential objective is the 'primordial' need to be in tune with nature.

Dealing with heterogeneous disciplinary environments, such as sociology, biology and social ecology, research on architecture and its technologies are organised as an investigation of the rules and methodologies that can be taken from nature for a project that can improve our well-being and health conditions. In this perspective, the experimentation dealt with in the paper, represented by HTOs, suggests a connection with the nature model and takes on the responsibility to understand this relationship by exploring the connection between micro and macro dimensions. The scientific assessment on the small scale



**Fig. 6** | Urban living rooms (2019), Colleferro (RM): HTO simulation in an urban environment (credit: Spin-off Dot5-Lab).

**Fig. 7** | Found Form Lab (FLL) at BrookMcIlroy, Wyatt Armstrong, Design Fabrication Zone at Ryerson University: Tree trunk/branch mapping and engraving process to replicate traditional drum rhythm 2021 (credit: BrookMcIlroy, Found Form Lab, W. Armstrong).



**Fig. 8-11** | Indigenous Design Studio at BrookMcIlroy: Gathering Circle (2006-13), Spirit Garden in Thunder Bay designed by BrookMcIlroy Architects: Implementation stages, from the traditional techniques of the indigenous people to computerized processing; Blueprint, details and assembly scheme; Vertical elements, from design to installation; Integration in the landscape (credits: BrookMcIlroy, Indigenous Design Studio; photos by D. Whittaker).

(core elements of micro-design), the supervision of the basic data and its reactivity are the calculable models for scale shifts. In the ascending process towards the higher scales (urban object, architecture, public space) there is a creative progression, including autonomous conceptualizations and figures, that invents new urban places (Fig. 6). Working with objects with controlled micro-dimensions, but bearing rules, languages, and design mechanisms that can be developed in non-predetermined forms means exploring formal and architectonic balances yet to be found. This provides new prospects in the project-living alliance, that can head towards directions that are not standardized or prearranged.

**Great into small<sup>2</sup>: Biophilic Design of Indigenous Canadians** | The teachings coming from local building cultures, in this paper focused on the wide experience of Indigenous Canadians, are interesting for our considerations. Born in material and creation contexts different from our contemporary world, these 'building cultures' belong to a pre-scientific world, which can be evaluated for its effects and organic correspondences

with the initial 'naturalistic' data. They are models for sustainability since they represent a balance between need and consumption, nature and mankind, a culture that has limited the impact of man on nature without compromising the needs of future generations.

The focus on the constructive knowledge from these Indigenous Canadians comes from the recognition of an intangible value concerning biophilic design research. Their innate relationship with natural elements – visible also in their building ability – is considered thanks to an idea that does not come deterministically from the manifestations of their skilful operation, but from anticipation and perspective for future architectural experiments based on the interaction between tradition and new technologies.

The idea of the world of the traditional Native American cultures is based on the story of creation, in which animals and nature work together to help mankind settle on Earth. A reciprocity principle between humankind, animals and Earth is at the basis of native 'doctrines' (Robinson, 2018). These 'cultures', unified by shared cultural traits, are different for their variety and belong to

different lifestyles, but have a sustainable essence and long history, marked by centuries of positive cohabitation with the environment (Watson, 2019). This natural sustainability integrated into indigenous cultures has been mentioned by the United Nations in the 2030 Sustainable Development Agenda (UN, 2015). It promoted consultation with indigenous communities to implement programmes on the territory aimed to assess the environmental impact of projects.

Following this technical-cultural innovation, in 2015, the Canadian office Brook McIlroy founded an Indigenous Design Studio<sup>3</sup>. It is an example of how Indigenous cultural elements and operational models can take on a role and provide teachings on the symbiosis between nature and architecture in the built environment. This challenge belongs to the ongoing complex Canadian cultural reconciliation process<sup>4</sup>, which already comprises architectural experiences for the city on the small and medium scales, based on the involvement of Indigenous communities in support of a shared design vision through participatory processes.

The programme of Canadian governance on indigenous realities and environmental sustainability has accelerated the spread of 'green' solutions in architecture<sup>5</sup>. In this context, the experience of the Brook McIlroy team, strongly committed to integrated and sustainable design, assumes a pilot role: Indigenous designers/architects collaborate with the multidisciplinary teams of the office, achieving interesting results in the fields of architecture and landscape design. The evolution of the firm's practice, involved in complex co-design operations with Indigenous communities, acknowledges the native architects themselves in formulating consistent guidelines and methodological itineraries for a contemporary design, inspired by nature.<sup>6</sup>

One of the most innovative experiences concerning the core of 'multicultural' design is the Found Form Lab (FFL), created in 2021, in partnership with Digital Fabrication Laboratory at Ryerson University<sup>7</sup>. On this occasion, the study groups experimented with new ways of working, starting from the choice of tree trunks that the natives select according to species, season, moon phase and position of the plants, and their cutting techniques. After the preliminary stage comes the parametric design and the digital cut to create building components with a controlled, measurable and replicable 'language'. The uniqueness of these processes lies in a vision integrating the operational aspect of craft with sophisticated control technologies and, at the same time, fostering interaction with art forms and figurative expressions. A specific case, developed in collaboration with FFL, is the creation of wood elements manufactured with a musical pattern that plays the sound of drums in a traditional indigenous song. Using a visually untreated natural element, realisable thanks to new processing technologies, is an innovative method that amplifies the potential of the project, merging modern technology and indigenous knowledge to create new storytelling forms (Fig. 7).

**Two examples of artifice between nature, tradition and symbol** | The interest in heuristic procedures aimed at highlighting the constructive

cultures of Indigenous Canadians – and their recognized ability to assume nature in its spontaneous forms – constitutes an initial point for getting to the design field of micro and macro dimensions of urban space. Small symbolic structures that stand as models for their spiritual resonance and peaceful coexistence with the natural world and for their search of physical and transcendent well-being are often included within larger projects of urban redevelopment.

In 2006, BrookMcIlroy commissioned the design for the transformation of the former industrial areas along the lake of Thunder Bay in Ontario. It was the implementation of a complex program that included service buildings, public spaces and the environmental redevelopment of a coastline stretch. The project was created and made by integrating the different cultural histories of the city, consulting communities, choosing local materials and involving local craftsmen<sup>8</sup> (Brook, 2014). The landscape project was completed with the placement of a Spirit Garden, a shared space whose public identity is entrusted both to the communicative power of art and the expressive power of architecture. A circular space whose location is visible from the city and has a privileged view of the lake and the landscape.

The Spirit Garden's celebration circle is an outdoor structure designed with Indigenous architects. The use of curved wood for this structure follows a construction technique known to the Anishinaabes. In this experience, local craftsmen were hired to replicate the process of tree cutting and structure assembling. The young spruces cropped in Spring were stripped of their bark, tied together at the ends and bent by drying. The resulting timber trusses were assembled on the circular base to support a wooden diaphragm made with curved linear elements in cedarwood that worked as a weaving (Fig. 8-11). The space, well-defined and unique, reflects the native concepts of the inclusive circle, peaceful coexistence and respect for the natural world by, once again, retracing the adaptation processes of cultures and construction methods handed down by indigenous craftsmen (Brook, 2014).

In 2015, BrookMcIlroy was selected to create Collingwood's Waterfront Masterplan. During the consultation phases, it emerged that the local indigenous communities wanted a space similar to Thunder Bay for outdoor community events, the Awen' Gathering Circle. The design of this open-air pavilion was developed based on the concept of the seven layers of the Food Forest, connected with the Seven Grandfather Teachings of Anishanabee origin, based on the idea of reciprocity and inclusion with all living beings: wisdom, courage, respect, truth, honesty, humility, love (SGEI, 2021). The base idea for the seven layers of the Food Forest is a strong connection between knowledge and forest management from indigenous people. For millennia, they have drawn food and medicine from these lands.

The load-bearing structure of this architecture is made of cedar wood pillars (representing the forest) and supports the same number of metal canopies (representing foliage) and the seats, in the form of large stones (representing the teachings of the ancestors). A biophilic interpretation (Browning, Ryan and Clancy, 2014) of the



'seven teachings', in which the projects connect each level of the Food Forest with one teaching, activating a configuration process whose geometries generate a pattern that hints at the natural element by using laser cutting techniques and highly sophisticated technologies (Fig. 12-14).

**Final considerations** | The architectures described in the paper contain food for thought, both for the importance of their symbolic contents and their particular generative history. The profound and spontaneous entwining with nature as a structural element, modifiable but not visible, and architecture emerges. In the case of urban oases (HTOs), nature no longer appears through already-established models, but is the object of rediscovery, as a repertoire of still unexpressed possibilities and that only experimental

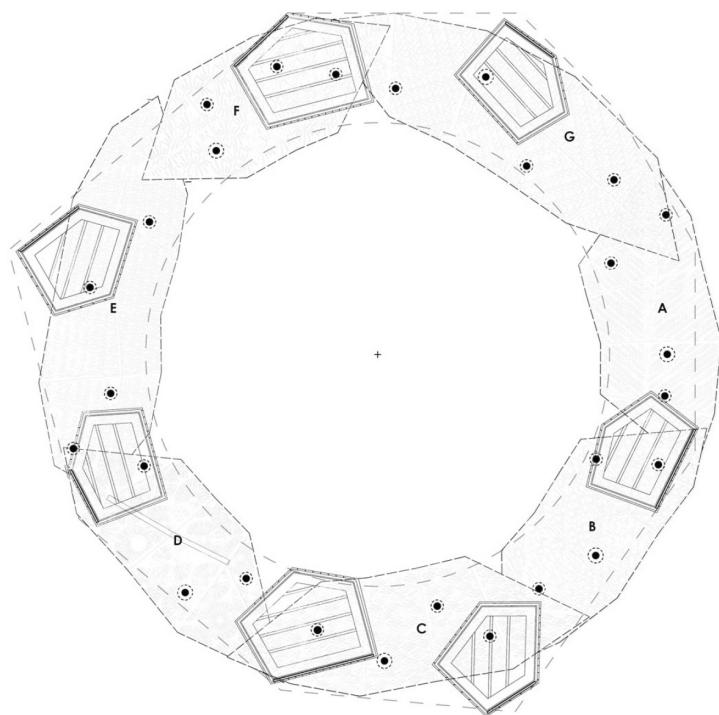
research, with a scientific base and with completed technical and architectural results, can show. Conversely, in the case of Native American celebratory circles, the symbiotic bond with the earth emerges, when it is generated by a wise combination of discovered resources and human and primary needs. The applied models, coming from the above-described modalities, are exemplary results when considered as spontaneous and constitutive integrations with green nature and with the landscape in which they are included, but even more, they indicate a virtuous modality in the research on greenery in architecture.

In the research on greenery and built space, an operational horizon is envisaged. It has become aware of the pressing need to investigate balance forms for a connection between the architecture project, and the 'technological and





**Fig. 12-14** | Indigenous Design Studio at BrookMcIlroy Awen' Gathering Place (2018) in Collingwood designed by BrookMcIlroy Architects: Gathering of the villages of the First Nation, symbolic entrance for discussions, connections and cultural recognition of indigenous people; The layers for the design of the Food Forest panels inspired by the 'Seven Grandfather Teachings'; The design principle for the Awen's circle and views of the structure (credits: BrookMcIlroy, Indigenous Design Studio, D. Redbird; photos by S. Snelgrove for Collingwood Today and D. Whittaker).



|   |                            |  |  |  |  |
|---|----------------------------|--|--|--|--|
| A | NBWAAKAAWIN<br>Wisdom      | OVERCANOPY<br>Maple<br>Beech<br>Walnut<br>Hickory                |  |  |  |
| B | AAKIDE'EWIN<br>Bravery     | UNDERSTORY<br>Apple Tree<br>Chokecherry Tree<br>Hawthorn Tree    |  |  |  |
| C | MINADENDIMOOWIN<br>Respect | SHRUBS<br>Sumac<br>Blueberries<br>Raspberries                    |  |  |  |
| D | DEBWEWIN<br>Truth          | GROUND SPECIES<br>Mushrooms<br>Poison Ivy<br>Fly Agaric          |  |  |  |
| E | GWEKWAADIZWIN<br>Honesty   | HERBACEOUS<br>Sorel<br>Comfrey<br>Wild Strawberry                |  |  |  |
| F | DBADENDIZWIN<br>Humility   | ROOTS & TUBERS<br>Wild Onions<br>Wild Garlic<br>American Ginseng |  |  |  |
| G | ZAAGEDOWIN<br>Love         | VINES<br>Riverbank Grapes<br>Groundnut                           |  |  |  |



imaginative' use of greenery, to help consolidate a new paradigm of the nature-city, today facing the challenges of climate change. The topics dealt with in the paper aim to encourage considerations on the new players entrusted with the 'reconnection with nature' and the invention of new urban places, as specialists capable of working in collaborative environments where the traditional divisions of roles merge in an operational dimension strongly characterized by the common factor of creativity. In it, art, architecture and science universes meet on the ground of techniques and

culture, in line with the objectives of the New European Bauhaus.

Reclaiming the heritage and the local traditions is considered an extremely interesting factor, for its current challenge on subjects concerning green nature as a model of the project; it unfolds both as an 'invenio', that is to say an invention that operates as intelligence in finding and recognize, and as an 'inventio', as the ability to indicate the perspective of the new on land that is not derived from established customs. It is fundamental to work on the propelling force of the

'connective intelligence' between the various forms of knowledge, to ensure continuity of processes and to support the evolutionary growth of ideas. A hypothesis of good practices is presented here based on integration, on the development of flexible and repeatable urban-scale models which always propose open and scalable procedures, in the construction of artificiality that shows again nature in its technological transformation.

## Acknowledgements

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

## Notes

1) InDiesis is an Off-site Innovative Building System, patented in Italy at the Italian Patent and Trademark Office, patent number 10201900006622. For more information, see the webpage: [ryerson.ca/zone-learning/design-fabrication-zone/events/2021/07/foundformlab/](http://ryerson.ca/zone-learning/design-fabrication-zone/events/2021/07/foundformlab/) [Accessed 14 April 2022]. The presented urban high-tech oasis (HTOs) is the result of cross-disciplinary research at 'Tor Vergata' University of Rome. It involved architectural design, botany, and electronic and environmental engineering.

2) The architect tries to replace large dimensions (cities, etc.) with the image he has today of what is 'great' and elusive. So to try to keep together the small things and the World, he tries to keep the concreteness of things and the virtual image close to each other, in a single space. In other words: the measurable with what cannot be measured, the visible with the invisible, in short, the great with the small, but leaving them strictly separate. Where the great is the complexity that supports sustainability, but also the city, a landscape or nature, the future and its memory. The small is us, with our little cherished things (usually in the little space we have at our disposal), the time that these small things have to exist and eventually become eco-symbols and human institutions (Sichenze, 2011).

3) In the context of the greenery of the built environment, the Canadian studio Brook McIlroy, based in Toronto, Thunder Bay, Winnipeg and Calgary, is an interesting example of a multidisciplinary team active in the field of urban planning and landscape design and architecture. Over the years, the firm has established an Indigenous Design Studio, an internal and independent structure composed of architects of native origin, also because of the fruitful collaboration with the Anishinaabe designer and artist Ryan Gorrie, today partner of the firm.

4) Since 2015, Canada is implementing a reconciliation policy with Indigenous communities in the territory, aiming to overcome decades of structural and systematic discrimination against indigenous peoples.

5) In 2019, the Pan-Canadian Framework for Clean Air and Water was published, an Action Plan to address climate crises developed with indigenous people's help (ECC, 2020). Although indigenous knowledge of natural resource management was probably not appropriately considered in this government programme (Reed et alii, 2021), we can still affirm that in Canada there is a growing awareness of the potential of the indigenous perspective in sustainable design as well as in the architecture field (RAIC, 2020). Therefore, as the climate crisis spreads across the world and Canada acts to reduce the building industry's carbon emissions, it seems that contemporary indigenous architecture can take on a renewed value by overcoming the local perspective and taking a more geographically

widespread focus (Watson, 2019).

6) For this innovative component, the studio has received many awards and a Gold Level for the Progressive Aboriginal Relations from the Canadian Council for Aboriginal Business (CCAB, 2019).

7) For more information, see the webpage: [ryerson.ca/zone-learning/design-fabrication-zone/events/2021/07/foundformlab/](http://ryerson.ca/zone-learning/design-fabrication-zone/events/2021/07/foundformlab/) [Accessed 14 April 2022].

8) The indigenous communities of Robinson-Superior Treaty, Red Sky Métis and Fort William First Nation have been involved with the help of an Anishinaabe mediator, JP Gladu. The results of the consultation have shaped the final project (Davidson and Gorrie, 2021).

## References

Brook, C. (ed.) (2014) *The City and The Spirit Garden – Prince Arthur's Landing Thunder Bay, The City of Thunder Bay*. [Online] Available at: [issuu.com/brookmcilroy/docs/pal\\_draft9\\_edited\\_for\\_online\\_public](http://issuu.com/brookmcilroy/docs/pal_draft9_edited_for_online_public) [Accessed 14 April 2022].

Browning, W. D., Ryan, C. O. and Clancy, J. O. (2014), *14 Patterns of Biophilic Design – Improving Health & Well-Being in the Built Environment*, Terrapin – Bright Green LLC, New York. [Online] Available at: [terrapin-brightgreen.com/wp-content/uploads/2014/04/14-Patterns-of-Biophilic-Design-Terrapin-2014e.pdf](http://terrapin-brightgreen.com/wp-content/uploads/2014/04/14-Patterns-of-Biophilic-Design-Terrapin-2014e.pdf) [Accessed 14 April 2022].

CCAB – Canadian Council of Aboriginal Business (2019), *Business Reconciliation in Canada – Guidebook*. [Online] Available at: [ccab.com/wp-content/uploads/2019/09/Business-reconciliation-in-canada\\_WEB-final\\_AA.pdf](http://ccab.com/wp-content/uploads/2019/09/Business-reconciliation-in-canada_WEB-final_AA.pdf) [Accessed 14 April 2022].

Crum, S. M., Shiflett, S. A. and Jenerette, G. D. (2017), "The influence of vegetation, mesoclimate and meteorology on urban atmospheric microclimates across a coastal to desert climate gradient", in *Journal of Environmental Management*, vol. 200, pp. 295-303. [Online] Available doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.077 [Accessed 14 April 2022].

ECC – Environment and Climate Change Canada (2020), *A Healthy Environment and a Healthy Economy – Canada's strengthened climate plan to create jobs and support people, communities and the planet*. [Online] Available at: [canada.ca/en/services/environment/weather/climate-change/climate-plan/climate-plan-overview/healthy-environment-healthy-economy.html](http://canada.ca/en/services/environment/weather/climate-change/climate-plan/climate-plan-overview/healthy-environment-healthy-economy.html) [Accessed 14 April 2022].

Davidson, J. and Gorrie, R. (2021), "Indigenous Reclamation Through Landscape Design | L'Aménagement Paysager, outil de Reconquête Autochtone", in *Landscape/Paysages*, vol. 23, issue 4, pp. 40-43.

Dewey, J. (1949), *Logica, teoria dell'indagine*, Einaudi, Torino.

Gerfen, K. (2009), "Green Wall Systems – Phytoremediation Wall System", in *Architect Magazine*, 11/09/2009. [Online] Available at: [architectmagazine.com/awards/r-d-awards/green-wall-systems-active-phytoremediation-wall-system\\_o](http://architectmagazine.com/awards/r-d-awards/green-wall-systems-active-phytoremediation-wall-system_o) [Accessed 14 April 2022].

Granata, E. (2021), *Placemaker – Gli inventori dei luoghi che abiteremo*, Einaudi, Torino.

Heidegger, M. (1968), *L'epoca dell'immagine del mondo in Sentieri interrotti*, La Nuova Italia, Firenze.

Myers, W. (2018), *Bio Design – Nature, science, creativity*, Thames & Hudson Ltd, London.

Offenhuber, D. and Ratti, C. (eds) (2014), *Decoding the City – Urbanism in the Age of Big Data*, Birkhäuser, Basel. [Online] Available at: [academia.edu/9468998/Decoding\\_the\\_City\\_Urbanism\\_in\\_the\\_Age\\_of\\_Big\\_Data](http://academia.edu/9468998/Decoding_the_City_Urbanism_in_the_Age_of_Big_Data) [Accessed 14 April 2022].

RAIC – Royal Architecture Institute of Canada (2020), *Taking Action – A Conversation on Climate Action and Architecture in Canada – An RAIC 2021 Congress on Architecture Event, October 5, 2020 – Summary Report*. [Online] Available at: [docplayer.net/213321178-Congress-on-architecture-a-conversation-on-climate-action-and-architecture-in-canada-sur-l-architecture-october-5-2020-taking-action.html](http://docplayer.net/213321178-Congress-on-architecture-a-conversation-on-climate-action-and-architecture-in-canada-sur-l-architecture-october-5-2020-taking-action.html) [Accessed 14 April 2022].

Reed, G., Gobby, J., Sinclair, R., Ivey, R. and Matthews, H. D. (2021), "Indigenizing Climate Policy in Canada – A Critical Examination of the Pan-Canadian Framework and the ZeN RoadMap", in *Frontiers in Sustainable Cities*, vol. 3, article 644675, pp. 1-12. [Online] Available at: doi.org/10.3389/frsc.2021.644675 [Accessed 14 April 2022].

Rilke, R. M. (1980), *Lettera a un giovane poeta – Lettere a una giovane signora – Su Dio*, Adelphi, Milano.

Robinson, A. (2018), "Turtle Island", in *The Canadian Encyclopedia*, 06/11/2018. [Online] Available at: [thecanadianencyclopedia.ca/en/article/turtle-island](http://thecanadianencyclopedia.ca/en/article/turtle-island) [Accessed 14 April 2022].

SGEI – Seven Generations Education Institute (2021), "Seven Grandfather Teachings", in *7generations.org*, 03/02/2021. [Online] Available at: [7generations.org/seven-grandfather-teachings/?fbclid=IwAR1Ecq2MBE9Wtq\\_j5Rz-qeRXW-i-ExC7iDRjKEgxbNQXjShWThOjyKl-K4](http://7generations.org/seven-grandfather-teachings/?fbclid=IwAR1Ecq2MBE9Wtq_j5Rz-qeRXW-i-ExC7iDRjKEgxbNQXjShWThOjyKl-K4) [Accessed 14 April 2022].

Sichenze, A. (2011), *Architettura vs Nichilismo*, Mimesis, 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](http://un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E) [Accessed 10 November 2021].

Valle, L. (2011), *Dall'ecologia all'ecosofia – Percorsi epistemici ed etici tra Oriente e Cristianesimo, tra scienza e saggezza*, Ibis, Como-Pavia.

Watson, J. (2019), *Lo-TEK – Design by Radical Indigenism*, Taschen, Cologne.

## LETTURE INTEGRATE PER IL VERDE PENSILE URBANO

Codici espressivi e forme di natura

## INTEGRATED READINGS FOR THE URBAN GREEN ROOF

Expressive codes and forms of nature

Alberto Bologna, Adriana Gherzi, Stefano Melli

### ABSTRACT

La qualità dello spazio pubblico richiede nuovi paradigmi di studio: tasselli interconnessi di un più ampio sistema di verde urbano possono garantire servizi ecosistemici e vivibilità a spazi densi di significato culturale e attrattiva sociale. In particolare il verde pensile, garantendo nuove connessioni con il contesto, si dimostra nuova possibilità strategica per dare valore e spazio di natura, guardando alla città costruita come a un sistema vivente. Elemento sempre più frequente, talora generativo, del linguaggio della 'terza rivoluzione industriale digitale verde', il verde pensile ha fornito una risposta in chiave compositiva, formale e ornamentale alle esigenze di risparmio energetico e di minor consumo delle risorse materiali e naturali alla scala della città, come a quella dell'architettura, in contesti climatici e socio-tecnici differenti. Il contributo intende analizzare il verde pensile nel suo ruolo di elemento strategico per la rigenerazione complessiva del sistema urbano e di elemento architettonico identificativo della cultura del progetto del nostro tempo.

The quality of public space requires new study paradigms: interconnected pieces of a broader urban green system can guarantee ecosystem services and liveability to spaces full of cultural meaning and social attraction. In particular, green roof gardens, by guaranteeing new connections with the context, prove to be a new strategic possibility to give value and space to nature, looking at the built city as a living system. An increasingly frequent, sometimes generative element of the language of the 'third digital green industrial revolution', green roof gardens have provided a compositional, formal and ornamental response to the need to save energy and reduce the consumption of materials and natural resources on a city-wide scale, as well as that of architecture, in different climatic and socio-technical contexts. This contribution intends to analyse green roof gardens as a strategic element for the overall regeneration of the urban system and as an architectural element identifying the design culture of our time.

### KEYWORDS

città densa, densità di piante, verde pensile strategico, tettonica, codici espressivi contemporanei

dense city, plant density, strategic green roofs, tectonics, contemporary expressive codes

**Alberto Bologna**, Architect and PhD, is an Assistant Professor in Architectural and Urban Composition at the Department of Architecture and Design of the 'Sapienza' University of Rome (Italy). He concentrates his research in the field of a design culture based on construction through the relationship between tectonics, compositional aspects and the conception of architectural space. E-mail: alberto.bologna@uniroma1.it

**Adriana Gherzi**, Associate Professor of Landscape Architecture at the DAD Department of the University of Genoa (Italy), focuses on the role of landscape as a place of relationship between different disciplines regarding Landscape Planning and Design, Therapeutic Landscapes, and Historical Gardens. E-mail: adriana.ghersi@unige.it

**Stefano Melli**, Landscape Architect, is a PhD Candidate at the DAD Department of the University of Genoa (Italy). His research is mainly focused on the multi-scalar study of green roofs as a new form of nature in the city, and the integration of humans and the wild in the ecological dynamics affecting the urban landscape. E-mail: stefano.melli.t9@gmail.com

La densificazione delle aree urbane è stata a lungo considerata una strategia appetibile per evitare il consumo di suolo e combattere logiche di incontrollata espansione urbana (Tabb, 2021). Densificare significa agire entro i confini della città, aumentando la disponibilità di spazio urbano abitabile e investendo in politiche di incremento locale della popolazione, specialmente nelle città in rapida crescita sottoposte a forti pressioni demografiche ed economiche (Teller, 2021). Nell'arco di soli 30 anni la popolazione mondiale crescerà di 2 miliardi e più di due terzi del totale vivrà nelle città: un trend dovuto sia all'alta natalità di Paesi come Cina, India e Nigeria, sia ai migranti nazionali e internazionali, che si sposteranno nelle città con la speranza di migliorare la propria qualità di vita (Eurostat, 2021).

Facendo riferimento alla prossimità tra servizi, luoghi di lavoro e aree residenziali, la densificazione ridurrebbe l'utilizzo di automobili in favore di un uso maggiore di mezzi di trasporto pubblici e di mobilità dolce (Teller, 2021). Eppure, i suoi presupposti rivelano un cortocircuito che mina persino le basi della densificazione più 'smart'<sup>1</sup>: il tasso d'incremento della superficie urbanizzata abitabile risulta essere quasi doppio rispetto al tasso di crescita della popolazione (Angel et alii, 2011), anche in quei Paesi soggetti a un declino demografico, come l'Italia, dove, al ritmo attuale, le superfici abitabili continueranno comunque a crescere di circa il 3% (Munafò, 2020); inoltre, pur parlando di strategie sostenibili, un'espansione volumetrica guidata dall'obiettivo di incrementare la prosperità umana, non sarebbe, in ogni caso, esente da impatti ambientali (Hickel and Kallis, 2019). In nome della sostenibilità, la città densa si trasforma in un luogo a bassa abitabilità e socialità, dove il contatto con la natura viene cercato altrove; nella città densa, sembra quasi che la volumetria assuma più importanza della vivibilità, ponendo sotto i riflettori la differenza tra vuoti e pieni, piuttosto che la qualità del progetto (Lamour, 2010).

Il contributo ha la finalità di analizzare il verde pensile inteso tanto quale elemento strategico per la rigenerazione complessiva del sistema urbano, quanto vero e proprio elemento architettonico in grado di dar vita a codici espressivi identificativi della cultura del progetto del nostro tempo. Da queste ragioni deriva la struttura dello scritto, caratterizzato da ragionamenti condotti dalla scala della città a quella dell'edificio e attraverso il riferimento a casi studio, emblematici e identificati in maniera strumentale, a una progressiva riscrittura di una teoria della progettazione della 'terza rivoluzione digitale verde' (Rifkin, 2019, p. 19).

**Far spazio alla natura** | Di fronte alla fallacia della città compatta, Neuman (2005) intuisce la necessità di 'elevare il livello del gioco'. È necessario ricercare un equilibrio tra pianificazione funzionale e progettazione di spazi vivibili, adottando un punto di vista dinamico che guardi all'urbanizzazione come al frutto di un processo coevolutivo e non solo come a una strategia della forma. In tal senso, è interessante riprendere la visione offerta dalla bionomia, che indaga le leggi biologico-ambientali e la fisiologia di un territorio, introducendo un significativo cambio di paradigma sulla città: un intero territorio (città compresa) può essere considerato totalmente co-

me un sistema vivente caratterizzato da uno stato di quasi-equilibrio o metastabilità<sup>2</sup> (Wu and Loucks, 1995; Ingegnoli, 2015), secondo cui, per garantire il passaggio a un nuovo modello di città, è indispensabile definire sistemi e reti integrati in grado di rigenerare, proteggere e migliorare il nostro paesaggio quotidiano a partire dal sistema del verde (Santolini and Morri, 2017). L'integrazione di dispositivi ispirati alla natura (Capra, 2006; Mancuso, 2019) da connettere al sistema del verde esistente (Giran, 2015), incluse quelle aree residuali di terzo paesaggio che garantiscono protezione ai sistemi urbani e possibilità di diffusione di specie (Clément, 2010), sposta scalarmen- te il progetto che deve confrontarsi con i livelli macro e micro.

Nell'approccio orientato al Natural-based Thinking, il verde pensile si conferma come opportunità strategica di rigenerazione del sistema urbano: adottando una visione multidimensionale e multispecie, è possibile indirizzare il progetto verso una qualità dei luoghi che leghi fisicamente e culturalmente le aree a verde pensile al contesto di riferimento (Florineth, 2007); nuove forme di natura per restituire, a diverse scale, nuove connessioni, ottimizzando gli scambi metabolici e garantendo alta biodiversità (Farina, 2021). In questo senso un sistema integrato e interconnesso di verde pensile andrebbe a costituire un'epidermide vivente in grado di regolare il passaggio di materiali ed energia sotto forme diverse, aumentando su più livelli la porosità del sistema urbano. È uno strumento vivo che intercetta, assorbe, filtra e trasmette.

L'interconnessione così generata in città migliora la qualità della vita dei suoi abitanti, i quali possono entrare in contatto tra loro attraverso spazi naturali di prossimità, soprattutto se progettati per essere accessibili e multifunzionali, sperimentando una diminuzione dello stress e un aumento generale del benessere (Ingegnoli, 2015). La capacità del verde pensile di essere innestato nella città consolidata permette, inoltre, la creazione di luoghi di valore diffusi, intesi come spazi in grado di accogliere contemporaneamente flora, fauna ed esseri umani (Mazzino, 2020), nonché promotori di cultura e senso di appartenenza della comunità cittadina (Melli, 2021).

Le soluzioni progettuali più interessanti di questo secolo hanno evidenziato la necessità di riprodurre o rendere possibili meccanismi di adattamento localizzati e processi naturali, rompendo la continuità della città densa, attraverso inserti in cui le piante (e non solo) possano trovare un habitat vitale, per cambiare completamente il carattere e le modalità di utilizzo da parte dei cittadini di alcune porzioni di suolo urbano 'pensile' (Voghera, 2015). Proponendo nuovi spazi, i progetti contemporanei hanno il compito di raccontare i nuovi bisogni della comunità, in cui le dimensioni biologiche, cognitive e sociali sono strettamente integrate.

**Linuaggi, canoni formali, immagine architettonica contemporanea** | Alla scala dell'architettura, il verde pensile ha fornito una risposta in chiave tecnica, compositiva, formale e ornamentale alle esigenze di risparmio energetico e di minor consumo di risorse, integrando nella forma costruita istanze energetico-prestazionali, aspetti fisico-formali, socio-culturali e tecnico-costruttivi

dell'architettura, attraverso la declinazione del rapporto forma-tipo-clima. La varietà delle soluzioni progettuali utilizzate per la creazione dei tetti verdi rende lecito analizzare la stagione architettonica corrente attualizzando una cultura progettuale fondata sul concetto di tettonica, intesa come arte dell'assemblaggio, un concetto sviluppato dagli studi di K. Frampton (1995, 2015), che pongono al centro delle loro indagini il rapporto tra forma, codici espressivi e costruzione in architettura. Ne deriva una lettura critica che richiama in parte una posizione prettamente 'tecnicista', certamente meno radicale di quanto postulato da V. Olgyay<sup>3</sup> nel 1963 e mediato dalle convinzioni di G. W. Reinberg (1998, p. 109), per il quale la 'ecological architecture' gode di un proprio linguaggio assolutamente riconoscibile e autonomo, pur rappresentando «[...] a reflection of technical, social and economic transition».

Il tetto verde è, innanzitutto, un efficace espediente tecnologico e costruttivo, atto a fronteggiare gli effetti del cambiamento climatico. L'obiettivo è progettare un organismo architettonico climaticamente responsabile, caratterizzato da ambienti interni confortevoli e da un basso dispendio di risorse per il loro riscaldamento o raffrescamento (Ferrini, 2020). Il concetto di tettonica è dunque attualizzato sulla base dell'osservazione, ad esempio, delle tecniche costruttive adottate per venire incontro agli aspetti compositivi dell'edificio nell'inserimento di una superficie vegetale in copertura; ne è un esempio emblematico il sistema di piantumazione all'interno di 'vassoi' costruiti in materiale organico che dopo la radicazione diventano terra, utilizzati per la creazione della superficie verde ondulata del Museo della California Academy of Sciences a San Francisco progettato da RPBW (2000-08).

Le implicazioni costruttive che sanciscono i codici espressivi di edifici concepiti per fare della copertura a verde pensile uno dei parametri compositivi capaci di renderli al passo coi tempi, sia sul piano estetico sia su quello funzionale, diventano imprescindibili nella riqualificazione spaziale e funzionale dell'architettura esistente: il recente studio Rooftop Catalogue pubblicato da MVRDV (2021) mostra in maniera evidente come la vegetazione accompagni la totalità delle funzioni potenzialmente addizionali sulle coperture degli edifici esistenti, siano esse residenziali, ricreative o sportive, sino a eccessi quali 'a petting zoo or a nature cemetery'; non a caso, MVRDV sta progettando, a Monte Carlo, un cimitero collocato sul tetto di un edificio per uffici, per via della mancanza di spazio libero nel territorio del Principato.

La soluzione del tetto giardino deriva chiaramente da pratiche del buon costruire della tradizione, capace di presentare le più forti ricadute sul piano compositivo in termini di aderenza figurativa ai principi dettati dalla progettazione bioeco-orientata del nostro tempo (Arpa and Ravon, 2019). Un espediente valido nei secoli e nelle diverse regioni climatiche, dai tradizionali tetti a falde vegetati delle Isole Faroe (Grullón-Penkova, Zimmerman and González, 2020), ai giardini pensili di Babilonia, fino al tetto-giardino lecorbusiano, icona di modernità architettonica e pragmatismo costruttivo, derivata dalla necessità di ridurre la temperatura sulla superficie della copertura in calcestruzzo armato (Oechslin, 1987).



**Fig. 1** | Promenade Plantée in Paris: on the 9-metre-wide arched viaduct of the disused railway, lime trees have been planted on either side of a central path, at the pillars, where the ground reaches 2 metres in depth (credit: A. Ghersi, 2019).

**Fig. 2** | Along the viaduct, there are several 'theme gardens': a linear element of water gives an image of freshness and richness to the vegetation (credit: A. Ghersi, 2019).

La teoria dell'architettura deve oggi misurarsi con un 'cambio di paradigma' culturale e tecnico del linguaggio architettonico, attuato in primis dalle politiche nazionali e locali circa la gestione del suolo e il controllo delle risorse energetiche in edilizia e, come conseguenza, dai progettisti che devono fornire una risposta a queste istanze (Bologna, 2021). Se contestualizzata nell'ambito della produzione architettonica contemporanea, la concezione di tetto-giardino non riscontra un mutamento significativo dei suoi principi progettuali, a partire dalla sua essenza di millenaria e pragmatica soluzione tecnica.

L'architettura contemporanea amplifica la teoria lecorbusiana intendendo il verde pensile non solo come spazio tridimensionale accessorio all'edificio, creato a partire da uno o più piani bidimensionali della sua copertura ma, sul piano estetico, come una vera e propria superficie con un ruolo compositivo e spaziale attivo, definito anche nella messa a sistema della singola architettura con l'organismo urbano in cui è inserita. A tal proposito, significativa è la riflessione di Stefano Boeri (2021, p. 26), attualmente al lavoro su «[...] una nuova città di fondazione in Messico: una Città Foresta dove i tetti delle case saranno una quinta facciata abitabile perché gran parte del traffico delle merci – e poi probabilmente anche delle persone – arriverà atterrando sulle coperture degli edifici».

Il verde pensile si rivela dunque uno degli strumenti figurativi più efficaci e appropriati nel veicolare l'immagine dell'architettura d'oggi, an-

che oltre l'effettiva rispondenza a reali esigenze climatiche o a prassi costruttive locali (VanderGoot, 2018): l'inserimento di vegetazione diviene strumento espressivo, sostituendo la retorica del proprio codice narrativo all'idea di efficienza energetica, assunta, in precedenza, dall'esibizione di pannelli solari o fotovoltaici.

Il verde pensile diviene uno dei principali stili dell'architettura d'oggi, al di là di una poco manifesta consapevolezza critica del suo potere generativo di linguaggi e formalismi palesata, ad esempio, dai lacunosi accenni generalisti riportati all'interno del volume *Elements of Architecture* curato da R. Koolhaas: «The paradox of the roof is that its inevitable regionalism – the Black Forest roof, the Chinese roof etc. – coexist with universal principles and physical requirements that must be followed in order to keep the roof up and the weather out» (Feng, Zhenning and Peterman, 2018, p. 387). Tuttavia, a queste premesse non fanno seguito riflessioni né sulla concezione post-lecorbusiana di edifici climaticamente responsabili né sulle ricadute che il verde pensile comporta sul piano espressivo e compositivo, ragionamenti che avrebbero portato, probabilmente, a riflettere su come proprio la globalizzazione del linguaggio architettonico contemporaneo di fatto tragga alcuni principi da buone pratiche proprie di una progettazione bio-ecorientata derivata dalla tradizione (Tabb and Deviren, 2014).

### Il ruolo delle piante nella qualità del progetto

Il codice narrativo del verde pensile vede le piante come protagoniste degli spazi. Le condizioni estreme per la vita (scarsità di suolo e acqua, alto impatto del vento e degli agenti inquinanti urbani, difficoltà di manutenzione) hanno richiesto uno studio attento delle caratteristiche dei luoghi e delle associazioni naturali delle specie, per poter riprodurre spazi caratterizzati dalle piante stesse (Lucas, 2011). Qui, la ricchezza del verde e il suo aspetto estetico hanno determinato un mutamento nella percezione delle aree urbane (Oudolf and Kingsbury, 2013), come mostrano alcuni progetti di successo, veri e propri strumenti di comunicazione dei concetti di resilienza, biodiversità ed ecologia urbana (Dunnett, 2019). Aspetti ecologici e criteri progettuali interagiscono nel lavoro dell'Architetto Paesaggista: non solo il miglioramento delle condizioni ambientali, ma anche un nuovo modo di disegnare uno spazio, utilizzando le piante in modo intenzionale per far percepire al pubblico i principi della sostenibilità, dell'aumento della biodiversità, dell'interazione a più livelli tra il sito di progetto e il paesaggio in cui si inserisce.

Partendo dallo studio delle associazioni spontanee di piante in natura alcune scelte formali hanno fortemente influenzato l'idea stessa di giardino pensile; progetti, diventati modelli di riferimento culturale hanno mostrato l'interessante aspetto di naturalezza con piante in grado di ricostruire habitat più ricchi, per accogliere comunità di specie vegetali e animali (ad es. impollinatori), insieme a comunità urbane in cerca di luoghi in cui riconoscersi. Sorprendenti associazioni di specie, con arbusti ed erbece perenni, riproducono l'emozione di una presunta spontaneità e mostrano l'interesse di alcune piante nelle diverse stagioni: in alcuni casi persino col-

tivazioni e orti hanno popolato i tetti di edifici dismessi diventando spazi produttivi condivisi da alcuni gruppi sociali.

L'obiettivo è incrementare il gradimento di spazi ad alto valore di biodiversità: una nuova estetica minimalista racconta il ruolo delle aree urbane verdi nella loro interazione; attraverso piante selezionate per rusticità, i progettisti hanno saputo sviluppare uno 'stile nuovo', caratterizzato da onde di erbece perenni eleganti, colorate, con lunghe fioriture ed elementi di interesse. Il visitatore viene attratto da scenari inusuali, dove l'espressione formale traduce la ricchezza di una natura imitata, di una naturalezza ricercata, per mostrarne la bellezza e definirne nuovi canoni di apprezzamento estetico. Le tendenze più innovative mostrano progetti che, a partire dall'osservazione di paesaggi specifici (dehesa, greti in alveo, praterie e garighe), sono in grado di sfruttare l'adattamento delle piante come meccanismo di evoluzione che trasforma nel tempo i materiali drenanti in suoli ospitali (Jorge, 2015).

**Casi studio a confronto** | Alcuni casi studio sono divenuti veri modelli di riferimento per aver mutato la percezione dello spazio urbano verde. L'iconicità delle opere qui analizzate ha sancito il ruolo del verde pensile quale indiscusso codice espressivo del nostro tempo: la loro messa a sistema, con l'obiettivo di delineare quelle traiettorie progettuali in grado d'inquadrare le grandi questioni teoriche contemporanee, ci consente di non considerarli come episodi estemporanei e di comprenderne l'effettivo valore in quanto buone pratiche che stanno avendo il merito di esplicitare i paradigmi che regolano il complesso rapporto tra tecnologia, forma urbana, relazione con il contesto e aspetti compositivi dell'architettura.

Primo esempio di infrastruttura verde metropolitana (1998), la Promenade plantée di Parigi (progettata da J. Vergely e P. Mathieux) introduce una riflessione ancora attuale sulla trasformazione di spazi in abbandono, coinvolgendo ogni tassello utilizzabile per rinforzare il sistema del verde urbano (Figg. 1-4). La possibilità di una sorprendente passeggiata urbana a contatto con la natura rivela inaspettate occasioni, esplorate nelle successive realizzazioni, sia sul piano progettuale sia nella scelta delle specie (Furlani Pedoja, 2000), per creare effetti di spontaneità e morbidezza: dalla High Line (2009-11, completata nel 2019) di New York con le erbece perenni, 'messe in scena' da P. Oudolf anche nel Lurie Garden (aperto nel 2004) di Chicago, a diversi esempi in Spagna, sino al più recente completamento della Petite Ceinture (2007-20) ancora a Parigi.

Interessanti anche alcuni esempi a scala architettonica, nei quali ritroviamo intenzioni didattiche e sociali, oltre che formali: dotare un organismo architettonico di un tetto-giardino significa anche rinnovare l'immagine rispetto ai codici espressivi contemporanei, nonché rispondere alla necessità ideologica di committente e progettista di apparire più aderenti ai parametri legati all'ecologia e al rispetto dell'ambiente. Non solo: come nella recente rigenerazione dello United States Post Office (2016-22) di Houston, da parte di OMA con l'architetto paesaggista H. Schaudt (Figg. 5-8), gli elementi costitutivi della

copertura a verde hanno incrementato funzioni e fruibilità, incentivando un'economia a chilometro zero: i prodotti dell'agricoltura urbana sviluppata sul tetto, vengono consumati e venduti all'interno dell'edificio stesso (Shigematsu and Long, 2021). Gli spazi per un'azienda agricola, un piccolo bosco, giardini ombreggiati e aree ricreative sono plasmati a partire da un'immaginaria impressione scultorea di solchi sull'edificio esistente, che determinano il posizionamento e l'arrivo in quota di tre grandi sistemi di collegamento verticale e generano uno spazio pubblico di 16.000 mq a disposizione del centro cittadino di Houston. Si tratta di una soluzione progettuale intenzionalmente ispirata dall'esempio del paesagista R. B. Marx e in linea coi principi teorici sul recupero postulati nel Rooftop Catalogue, che presenta all'interno delle sue pagine anche la Ski Mountain.

L'idea di una pista da sci artificiale, montata quale elemento parassitario su un edificio esistente, deriva senz'altro dall'osservazione di una delle reinterpretazioni di tetto-giardino più originali, iconiche e paradigmatiche pensate e costruite negli ultimi anni: la CopenHill (2002-19), realizzata a Copenaghen su progetto di BIG (Figg. 9-12). L'immagine di un impianto di termovalorizzazione è trasfigurata in quella di un grande tetto-giardino formato da tre maestose e scultoree rampe che, connesse, danno forma a uno spazio urbano pubblico sospeso, destinato al loisir e all'attività fisica. Il tutto a formare un nuovo landmark per il panorama cittadino di Copenaghen: lo dimostra l'immagine contenuta in 'hot to cold', dove la sirenetta di Edvard Eriksen, ritrovandosi alle sue spalle CopenHill, pronuncia nella forma di un fumetto, le seguenti parole: «The landmarks of a city say a lot about its fundamental values; or they are evidence of a spirit of an era» (BIG, 2017, p. 626).

A margine di questa suggestiva immagine, Ingels enfatizza come un termovalorizzatore sarà il prossimo landmark di Copenaghen: «It won't be a cultural palace – nor a royal palace. It will be a power plant that converts household waste into heat and energy» (BIG, 2017, p. 626). La struttura reticolare interna all'edificio che supporta le rampe è celata, all'esterno, da sofisticati involucri murari formati da giganteschi blocchi in alluminio sovrapposti, che, simulando l'assemblaggio tettonico di centinaia di mattoncini Lego, sostengono idealmente i piani inclinati del tetto-giardino. Di conseguenza, l'omogeneità materica e la regolarità della texture delle pareti assegnano alle rampe verdi il ruolo compositivo predominante. La copertura dell'edificio si trasforma dunque in uno spazio pubblico ludico sportivo panoramico, simbolo della rinascita di una nuova natura, che ben si lega ai principi di ecosostenibilità intrinseci alla funzione di termovalorizzatore dell'intero edificio.

Il progetto della pista è arricchito dallo studio SLA con margini densi di piante montane adatte alle condizioni estreme, che, lungo i percorsi pedonali, accolgono insetti e avifauna, costruendo un nuovo ecosistema capace di evolversi (con aumento della biodiversità) e di diffondersi anche nel contesto del quartiere industriale circostante (come una vera 'bomba verde'). Grazie alla funzione pubblica attribuita alla sua copertura e al suo valore estetico dettato da un

astuto e strumentale impiego del verde pensile, CopenHill è riuscita ad assurgere tanto al ruolo di landmark per la Città di Copenaghen quanto di vera e propria architettura-manifesto di questo secolo. CopenHill dimostra, in maniera inequivocabile, il valore espressivo e figurativo, oltre che il ruolo compositivo del tetto-giardino nell'architettura d'oggi, confermandosi canone estetico imprescindibile della contemporaneità, in grado di andare al di là delle sue valenze fisico-tecniche nella concezione di edifici climaticamente responsabili.

Si tratta di un valore figurativo espresso anche dal complesso Parkroyal, progettato da WOHA a partire dal 2007 e completato nel 2013, contenente un hotel e diversi uffici presso la Upper Pickering Street di Singapore (Figg. 13-16): un grande basamento terrazzato e due serie di tre solai a sbalzo, incastonati tra gli avancorpi dell'edificio, con coperture a verde sovrapposte. Un ideale suolo artificiale stratificato, pensato per sorreggere la vegetazione – originale interpretazione di un paesaggio che allude alle terrazze delle risaie – trova la sua forma materica in solettoni modellati a gradoni, rientranti rispetto il filo esterno, sorretti da pilastri a sezione circolare. Le severe facciate bidimensionali continue vengono messe in secondo piano dalla contrastante ricchezza materica del volume tridimensionale dei 15.000 mq di giardini sospesi, composti da alberi, palme, piante da fiore, arbusti e cespugli ricadenti sospesi all'estremità delle solette a sbalzo (WOHA and Bingham-Hall, 2016). I grandi solai dal profilo frastagliato e la massiccia presenza di vegetazione, oltre ad assorbire il calore, generare ombreggiamento e migliorare la qualità dell'aria dell'intero quartiere, definiscono il carattere architettonico del complesso, confermando il ruolo del verde pensile in una contemporaneità che ostenta la vegetazione nel suo ruolo espressivo e simbolico.

**Conclusioni** | La lettura delle caratteristiche peculiari dei luoghi di progetto e dei loro contesti definisce il campo di esistenza del progetto di paesaggio (Dunnnett and Hitchmough, 2004). Il verde pensile è uno strumento strategico per la rigenerazione urbana, che consente tanto la progettazione di nuove forme di natura e nuove forme di spazio pubblico urbano ibrido quanto, alla scala dell'edificio, la definizione del carattere architettonico del nostro tempo. Una selezione attenta di specie, capaci di costruire densità facilmente adattive, diventa l'elemento centrale per rendere attrattivi nuovi spazi pubblici pensili, dove la dimostrazione della ricchezza delle piante si combina con una spiccata capacità progettuale interpretativa (Filippi, 2020). Per meglio comprendere la relazione tra uomo e processi naturali, in diverse dimensioni spazio-temporali, per spiegare come gli organismi interagiscono con il loro ambiente esterno, catturando informazioni per sostenere e migliorare la loro vita quotidiana, è importante utilizzare l'ecosemiotica e la tettonica come strumenti interpretativi.

I casi studio analizzati sono identificativi dell'approccio integrato multiscalare che viene tratteggiato, nei limiti dello spazio di questo articolo; la loro diffusione quali buone pratiche contribuisce a un processo di crescita culturale tanto dei progettisti quanto, soprattutto, di committente

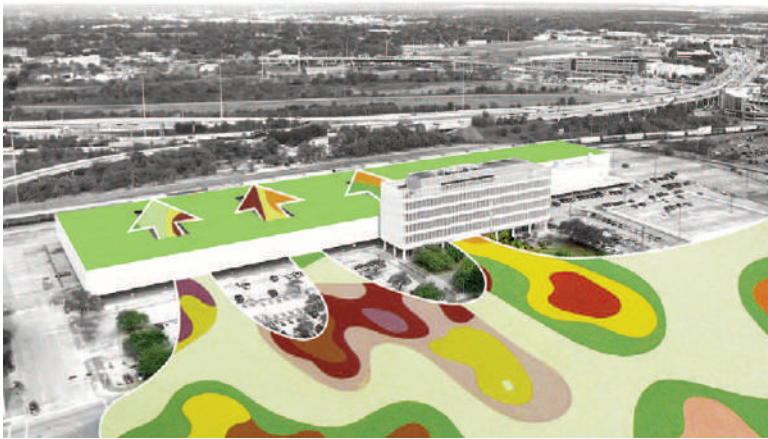
e municipalità che, nel futuro, avranno il ruolo di sviluppare e promuovere soluzioni che ricorrano al verde pensile. La messa in relazione e divulgazione di realizzazioni considerate eclatanti (tanto per la loro peculiarità architettonica quanto per la loro efficacia sul piano tecnico) deve consentire un progressivo superamento di barriere che, ad oggi, ancora spesso ne limitano le applicazioni: i costi di gestione, dovuti spesso a una scarsa competenza nella programmazione del ciclo di vita di queste architetture, mette ancora in secondo piano i benefici ambientali, sociali, psicologici derivati dalle loro valenze estetiche o da un'economia derivata dalla circolarità delle risorse, quali il recupero dell'acqua o il reimpiego di parti vegetali per altri usi.

La qualità del progetto del pensile diventa così direttamente proporzionale alla possibilità di radicarsi nel contesto e di trasmettere contenuti ecologici e formali di alto profilo, in grado di rendere attrattivi i nuovi spazi di incontro con la natura. Ecco, dunque, che il verde pensile, se letto come elemento caratterizzante tanto della for-



**Fig. 3** | The Promenade Plantée becomes a corridor of energy and plant density, bringing nature back into the metropolitan city (credit: A. Gherzi, 2019).

**Fig. 4** | One of the steps leading to the Promenade Plantée on the viaduct of the disused former railway (credit: S. Melli, 2022).



**Fig. 5-8** | Design concept of the restoration of the former United States Post Office (2016-22) in Houston, where the reference to R. Burle Marx is declared in the overall resolution of the green roof; Rendering presents the new overall roof arrangement of the former United States Post Office; Views of using the former United States Post Office roof as a public and gathering space serving the city (credits: S. Shigley, OMA New York).

ma della città quanto dell'architettura contemporanea, contribuisce a una progressiva (e necessaria) riscrittura della teoria della progettazione, ovvero di quella disciplina capace d'inquadrare le grandi questioni culturali che guidano la pratica progettuale odierna all'interno di un contesto globale, influenzato dalle specificità locali: un palinsesto intellettuale e critico praticabile per recepire gli effetti della pratica professionale e rielaborarli attraverso un dialogo diretto con gli attori coinvolti nell'industria delle costruzioni e nei processi di pianificazione della città e del territorio, per calibrarne i futuri indirizzi e individuare gli apporti transdisciplinari capaci d'influenzarne le prassi.

Densification of urban areas has long been considered an attractive strategy to avoid land consumption and combat uncontrolled urban sprawl (Tabb, 2021). Densification means acting within the city's boundaries, increasing the availability of habitable urban space and investing in policies for local population growth, especially in fast-growing cities under intense demographic and economic pressures (Teller, 2021). In just 30

years, the world's population will grow by 2 billion and more than two-thirds of the total will live in cities: a trend due both to the high birth rate in countries such as China, India and Nigeria and to national and international migrants moving to cities in the hope of improving their quality of life (Eurostat, 2021).

In terms of the proximity of services, workplaces and residential areas, densification would reduce car use, favouring greater use of public transport and soft mobility (Teller, 2021). However, its assumptions reveal a short-circuit that undermines even the foundations of 'smart' densification<sup>1</sup>: the rate of increase of the urbanised inhabitable area turns out to be almost double the rate of growth of the population (Angel et alii, 2011), even in those countries subject to demographic decline, such as Italy, where, at the current rate, the inhabitable areas will continue to grow by about 3% (Munafò, 2020). Moreover, even talking about sustainable strategies, a volumetric expansion driven by the objective of increasing human prosperity would not, in any case, be exempt from environmental impacts (Hickel and Kallis, 2019). In the name of sustainability, the dense city is transformed into a place of low habitability and sociality, where contact with nature is

sought elsewhere. In the dense city, it almost seems as if volumetry is more dominant than livability, putting the difference between empty and full spaces in the spotlight rather than the quality of the project (Latour, 2010).

This contribution aims to analyse roof gardens as a strategic element for the overall regeneration of the urban system as well as an authentic architectural element capable of giving life to expressive codes that can identify the design culture of our time. From these reasons, the structure of the paper is derived, characterised by reasoning conducted from the scale of the city to that of the building and through reference to representative case studies, identified in an instrumental way leading to a progressive rewriting of a design theory of the 'third green digital revolution' (Rifkin, 2019, p. 19).

**Making room for nature** | Faced with the fallacy of the compact city, Neuman (2005) senses the need to 'raise the level of play'. It is necessary to seek a balance between operational planning and the design of liveable spaces, adopting a dynamic point of view that looks at urbanisation as the result of a co-evolutionary process and not only as a strategy of form. In this sense, it is interest-

ing to take up the vision offered by bionomy, which investigates the biological-environmental laws and physiology of a territory, introducing a significant paradigm shift on the city: an entire territory (including a city) can be wholly considered as a living system characterised by a state of quasi-equilibrium or metastability<sup>2</sup> (Wu and Loucks, 1995; Ingegnoli, 2015), according to which, in order to ensure the transition to a new city model, it is essential to define integrated systems and networks capable of regenerating, protecting and improving our everyday landscape, starting from the green system (Santolini and Morri, 2017). The integration of nature-inspired devices (Capra, 2006; Mancuso, 2019) to be connected to the existing green system (Giran, 2015), including those residual third landscape areas that protect urban systems and the possibility of species diffusion (Clément, 2010), progressively shifts the project that must confront macro and micro levels.

In the Natural-based Thinking approach, green roofs are confirmed as a strategic opportunity for the regeneration of the urban system. By adopting a multidimensional and multispecies vision, it is possible to direct the project towards a quality of places that physically and culturally binds the green roof areas to the reference context (Florineth, 2007): new forms of nature to restore, at different scales, new connections, optimising metabolic exchanges and guaranteeing high biodiversity (Farina, 2021). In this sense, an integrated and interconnected system of green roofs would constitute a living epidermis capable of regulating the passage of materials and energy in different forms, increasing the porosity of the urban system on several levels. It is a living instrument that intercepts, absorbs, filters and transmits.

The interconnection generated in this way in a city improves the quality of life of its inhabitants, who can come into contact with each other through the proximity of natural spaces, especially if they are designed to be accessible and multifunctional, to experience a decrease in stress and a general increase in well-being (Ingegnoli, 2015). The ability of green roofs to be grafted into the consolidated city also allows the creation of widespread places of value, understood as spaces that can simultaneously accommodate flora, fauna and human beings (Mazzino, 2020), as well as be promoters of culture and a sense of belonging of the city's community (Melli, 2021).

The most compelling design solutions of this century have highlighted the need to reproduce or make possible localised adaptation mechanisms and natural processes, breaking the continuity of the dense city, through inserts in which plants (though not escluse) can find a vital habitat, to completely change the character and the way citizens use certain portions of 'hanging' urban land (Voghera, 2015). By proposing new spaces, current projects have the task of narrating the new needs of the community, in which the biological, cognitive and social dimensions are closely integrated.

#### Languages, formal canons and contemporary architectural images

On the scale of architecture, green roofs have provided a technical, compositional, formal and ornamental response to the need to save energy and consume fewer resources, integrating energy-performance instances, physical-formal, socio-cultural and technical-constructive aspects of architecture into the built shape, through the articulation of the relationship between form, type and climate. The

variety of design solutions used to create green roofs makes it legitimate to analyse the current architectural season by updating a design culture based on the concept of tectonics, understood as the art of assembly, a concept developed by the studies of K. Frampton (1995, 2015). These studies place the relationship between form, expressive codes and construction in architecture at the centre of their investigations. The result is a critical reading that partly recalls a purely 'technicist' position, indeed less radical than that postulated by V. Olgay<sup>3</sup> in 1963 and mediated by the convictions of G. W. Reinberg (1998, p. 109), for whom 'ecological architecture' enjoys its own absolutely recognisable and autonomous language, even though it represents «[...] a reflection of technical, social and economic transition».

The green roof is, first and foremost, an effective technological and constructional device to cope with the effects of climate change. The objective is to design a climatically responsible architectural organism characterised by comfortable interiors and a low expenditure of resources for their heating or cooling (Ferrini, 2020). The concept of tectonics is thus brought up to date based on observation, for example, of the construction techniques adopted to meet the compositional aspects of the building in the insertion of a vegetal surface on the roof. An emblematic example is the planting system using 'trays' made of organic material which, after rooting, become earth, used to create the undulating green surface of the Museum of the California Academy of Sciences in San Francisco designed by RPBW (2000-08).

The constructive implications which establish the expressive codes of buildings designed



**Fig. 9** | The Copenhagen Waste to Energy Plant in Copenhagen: The building's overall view is characterised by a large roof garden formed by three majestic and sculptural ramps (credit: R. Hjortshøj, BIG).

**Fig. 10** | Copenhagen's CopenHill waste-to-energy plant: Zenithal roof view, designed as a public space for sports and leisure activities (credit: R. Hjortshøj, BIG).





to make green roofs one of the compositional parameters capable of bringing them up to date, both aesthetically and functionally, become essential in the spatial and functional redevelopment of existing architecture. The recent *Rooftop Catalogue* study published by MVRDV (2021) clearly shows how vegetation accompanies all the functions that can potentially be added to the roofs of existing buildings, whether residential, recreational or sports facilities, up to excesses such as a petting zoo or a nature cemetery; it is no coincidence that MVRDV is designing a cemetery on the roof of an office building in Monte Carlo, due to the lack of free space in the Principality.

The solution of the roof garden clearly derives from traditional good building practices, capable of presenting the strongest repercussions on the compositional level in terms of figurative adherence to the principles dictated by the bio-eco-oriented design of our time (Arpa and Ravon, 2019). An expedient valid over the centuries and in different climatic regions, from the traditional vegetated pitched roofs of the Faroe Islands (Grullón-Penkova, Zimmerman and González, 2020), to the hanging gardens of Babylon, to the LeCorbusian roof garden, an icon of architectural modernity and constructive pragmatism, it was derived from the need to reduce the temperature on the surface of the reinforced concrete roof (Oechslin, 1987).

The theory of architecture must now measure itself against a cultural and technical 'paradigm shift' in architectural language, implemented first and foremost by national and local policies on land management and the control of energy resources in buildings and, as a consequence, by designers who must respond to these demands (Bologna, 2021). If contextualised within contemporary architectural production, the roof garden concept does not significantly change its design principles, starting from its essence as a millenary and pragmatic technical solution.

Contemporary architecture amplifies Le Corbusier's theory, understanding green roofs not only as a three-dimensional space accessory to

the building, created starting from one or more two-dimensional planes of its roof, but, on an aesthetic level, as an actual surface with an active compositional and spatial role, also defined in the systemisation of the single architecture within the urban organism in which it is inserted. Stefano Boeri (2021, p. 26), who is currently working on a new founding city in Mexico, is significant in this regard: a Forest City where the roofs of the houses will be a fifth inhabitable façade because most of the traffic of goods – and then probably also of people – will land on the roofs of the buildings. The roof garden thus proves to be one of the most influential and appropriate figurative tools in conveying the image of today's architecture, even beyond its actual compliance with fundamental climatic requirements or local building practices (VanderGoot, 2018): the inclusion of vegetation becomes an expressive tool, replacing the rhetoric of its narrative code with the idea of energy efficiency, which was previously assumed by the display of solar or photovoltaic panels.

The green roof has become one of the main stylistic features of today's architecture, despite a limited critical awareness of its generative power of languages and formalisms, as evidenced, for example, by the lacunose generalist hints reported in the volume *Elements of Architecture* edited by R. Koolhaas: «The paradox of the roof is that its inevitable regionalism – the Black Forest roof, the Chinese roof etc. – coexist with universal principles and physical requirements that must be followed in order to keep the roof up and the weather out» (Feng, Zhenning and Peterman, 2018, p. 387). However, these premises are not followed by reflections either on the post-LeCorbusian concept of climate-responsible buildings or on the repercussions of green roofs on the expressive and compositional level, reflections that would probably have led to a reflection on how the globalisation of contemporary architectural language actually draws some principles from the good practices of a bio-eco-oriented design derived from tradition (Tabb and Deviren, 2014).

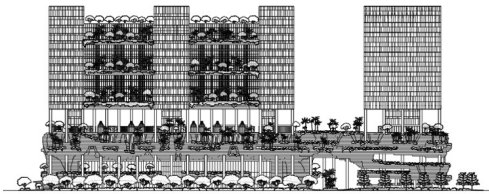
**The role of plants in project quality** | The narrative code of green roofs sees plants as the protagonists of spaces. The extreme conditions for life (scarcity of soil and water, high impact of wind and urban pollutants and difficulty of maintenance) required a careful study of the characteristics of the sites and the natural associations of the species in order to reproduce spaces characterised by the plants themselves (Lucas, 2011). Here, the richness of greenery and its aesthetic appearance has led to a change in the perception of urban areas (Oudolf and Kingsbury, 2013), as shown by some successful projects, which are fundamental tools for communicating the concepts of resilience, biodiversity and urban ecology (Dunnett, 2019). Ecological aspects and design criteria interact in the work of the Landscape Architect: not only the improvement of environmental conditions but also a new way of designing a space, intentionally using plants, in order to make the public perceive the principles of sustainability, increasing biodiversity, of multi-level interaction between the project site and the landscape in which it fits.

Starting from the study of spontaneous plant associations in nature, some formal choices have strongly influenced the very idea of roof garden. Projects, which have become models of cultural reference, have shown the exciting aspect of naturalness, with plants able to reconstruct richer habitats to accommodate communities of plant and animal species (e.g. pollinators), together with urban communities looking for places to recognise themselves. Surprising associations of species, with shrubs and herbaceous perennials, reproduce the excitement of a presumed spontaneity and show the interest of certain plants in different seasons. In some cases, even crops and vegetable gardens have populated the roofs of disused buildings, becoming productive spaces shared by particular social groups.

The aim is to increase the appreciation of spaces with a high biodiversity value: a new minimalist aesthetic tells the story of the role of green urban areas in their interaction. Using plants se-

Previous page

**Fig. 11, 12** | Views of the ski slope and one of the pedestrian paths with vegetation that has contributed to the expansion of biodiversity throughout the neighbourhood (credits: R. Hjortshoj and L. Ghinitoiu, BIG).



**Fig. 13, 14** | The Parkroyal Complex in Singapore: Drawing of the façade-facing Upper Pickering Street with the vegetation constituting the dominant compositional feature; aerial view of the complex where the presence of the terraced basement and two series of three cantilevered floors, set between the foreparts of the building, with impressive green roofs, stand out (credits: Skyshot Pte Ltd, WOHA).



lected for their rusticity, the designers have developed a 'new style' characterised by waves of elegant, colourful perennial herbaceous plants with long flowerings and elements of interest. The visitor is attracted by unusual scenarios, where formal expression translates the richness of an imitated nature, of a sought-after naturalness, to show its beauty and define new canons of aesthetic appreciation. The most innovative trends show projects that, starting from observing specific landscapes (Dehesa, riverbanks, prairies and garrigue), can exploit plant adaptation as an evolutionary mechanism that transforms draining materials into warm soils over time (Jorge, 2015).

**Comparing case studies** | Some case studies have become accurate reference models for having changed the perception of green urban space. The iconicity of the works analysed here has confirmed the role of green roofs as an undisputed expressive code of our time: putting them into a system to outline those design trajectories capable of framing the significant contemporary theoretical issues allows us not to consider them as extemporary episodes but as good practices that are explicating the paradigms that regulate the complex relationship between technology, urban form, relationship with the context and compositional aspects of architecture.

The first example of urban green infrastructure (1998), the Promenade Plantée in Paris (designed by J. Vergely and P. Mathieux), introduced a still topical reflection on the transformation of abandoned spaces, involving every element that can be used to reinforce the urban green system (Fig. 1-4). The possibility of a surprising urban walk in contact with nature reveals unexpected opportunities, explored in subsequent projects, both in terms of design and choice of species (Furlani Podoja, 2000), to create effects of spontaneity and softness: from the High Line (2009-11, completed in 2019) in New York with herbaceous perennials, also 'staged' by P. Oudolf in the Lurie Garden (opened in 2004) in Chicago, to various examples in Spain, up to the more re-

cent completion of the Petite Ceinture (2007-20) in Paris.

There are also some interesting examples on an architectural scale, in which we find educational and social intentions as well as formal ones. Equipping an architectural organism with a roof garden also means renewing its image concerning contemporary expressive codes and responding to the ideological need of the client and designer to appear more in keeping with parameters linked with ecology and respect for the environment. Moreover, that is not all: as in the recent regeneration of the United States Post Office (2016-22) in Houston by OMA with landscape architect H. Schaudt (Fig. 5-8), the constituent elements of the green roof have increased functions and usability, encouraging a zero-kilometre economy: the products of urban agriculture developed on the roof are consumed and sold inside the same building (Shigematsu and Long, 2021). Spaces for a farm, a small forest, shady gardens and recreational areas are shaped from an imaginary sculptural impression of grooves on the existing building, which determines the positioning and arrival at the height of three sizeable vertical connection systems and generates a public space of 16,000 square metres available to Houston's city centre. It is a design solution intentionally inspired by the example of landscape architect R. B. Marx and in line with the theoretical principles of recovery postulated in the Rooftop Catalogue, which also presents Ski Mountain within its pages.

The idea of an artificial ski slope mounted as a parasitic element on an existing building undoubtedly derives from observation of one of the most original, iconic and paradigmatic reinterpretations of roof gardens conceived and built in recent years: the CopenHill (2002-19), designed by BIG (Fig. 9-12). The image of a waste-to-energy plant is transfigured into that of a large roof garden formed by three majestic, sculptural ramps that form a suspended public urban space for leisure and physical activity. All of this forms a new landmark for Copenhagen's cityscape:

this is demonstrated by the image contained in 'hot to cold', where Edvard Eriksen's little mermaid, finding CopenHill behind her, utters the following words in the form of a comic strip: «The landmarks of a city say a lot about its fundamental values; or they are evidence of a spirit of an era» (BIG, 2017, p. 626).

In the margin of this evocative image, Ingels emphasises how a waste-to-energy plant will be Copenhagen's next landmark: «It won't be a cultural palace – nor a royal palace. It will be a power plant that converts household waste into heat and energy» (BIG, 2017, p. 626). The building's internal reticular structure supporting the ramps is concealed on the outside by sophisticated wall envelopes made of gigantic overlapping aluminium blocks that, simulating the tectonic assembly of hundreds of Lego bricks, ideally support the inclined planes of the roof garden. As a result, the material homogeneity and regularity of the texture of the walls give the green ramps the predominant compositional role. The roof of the building is thus transformed into a public space for sports and recreation with a panoramic view, a symbol of the rebirth of a new nature, which ties in well with the principles of eco-sustainability intrinsic to the building's function as a waste-to-energy plant.

The design of the track is enriched by the SLA studio with dense margins of mountain plants suitable for extreme conditions, which, along the pedestrian paths, welcome insects and avifauna, building a new ecosystem capable of evolving (with an increase in biodiversity) and of spreading even in the context of the surrounding industrial district (like an actual 'green bomb'). Thanks to the public function attributed to its roof and its aesthetic value dictated by the astute, instrumental use of hanging greenery, CopenHill has become both a landmark for Copenhagen and an authentic manifesto of the architecture of this century. CopenHill unequivocally demonstrates the expressive and figurative value and the compositional role of the roof garden in today's architecture, confirming its role as an essential aes-



**Fig. 15, 16** | Detail of the green roof installed in the basement part of the building, above a stratified artificial soil made of stepped moulded slabs; Detail of the green roof installed on the three cantilevered floors set between the building's avant-corps (credits: Patrick Bingham-Hall, WOHA).

thetic canon of the contemporary world, capable of going beyond its physical and technical values in the design of climate-controlled buildings.

This figurative value is also expressed by the Parkroyal complex, designed by WOHA starting in 2007 and completed in 2013, containing a hotel and several offices on Upper Pickering Street in Singapore (Fig. 13-16): a sizeable terraced basement and two series of three cantilevered slabs, set between the building's Avant-corps, with overlapping green roofs. An ideal stratified artificial ground, designed to support the vegetation - an original interpretation of a landscape that alludes to the terraces of the rice fields - finds its material form in terraced slabs, recessed concerning the outer edge, and supported by circular pillars. The severe two-dimensional curtain walls are overshadowed by the contrasting material richness of the three-dimensional volume of the 15,000 square metres of hanging gardens, composed of trees, palms, flowering plants, shrubs and bushes hanging from the ends of the cantilevered slabs (WOHA and Bingham-Hall, 2016). The large slabs with their jagged profile and the massive presence of vegetation, in addition to absorbing heat, generating shade and improving the air quality of the entire neighbourhood, define the architectural character of the complex, confirming the role of hanging greenery in a contemporary world that flaunts vegetation in its expressive and symbolic role.

**Conclusions** | The reading of the peculiar characteristics of the project sites and their contexts defines the field of existence of the landscape project (Dunnett and Hitchmough, 2004). Hanging greenery is a strategic tool for urban regeneration, allowing both the design of new forms of nature and new forms of hybrid urban public space and, at the scale of the building, the definition of the architectural character of our time. A careful selection of species capable of building easily adaptive densities becomes the central element in making new public hanging spaces attractive, where the demonstration of the richness of plants is combined with a solid interpretative design capacity (Filippi, 2020). To better understand the relationship between humans and natural processes in different Spatio-temporal dimensions, explain how organisms interact with their external environment and capture information to sustain and improve their daily lives, it is crucial to use ecosemiotics and tectonics as interpretative tools.

The case studies analysed indicate the integrated multi-scalar approach that is outlined within the limits of the space of this article. Their dissemination as good practices contributes to a process of cultural growth both for designers and, above all, for clients and municipalities who, in the future, will have the role of developing and promoting solutions using green roofs. The linking and dissemination of achievements considered striking (both for their architectural peculiarity and for their technical effectiveness) should allow a progressive overcoming of barriers that, to date, still often limit their applications: the management costs, often due to a lack of expertise in planning the life cycle of these architectures, still put in second place the environmental, social, psychological benefits derived from their aesthet-

ic values or an economy derived from the circularity of resources, such as the recovery of water or the reuse of plant parts for other uses.

The quality of the design of the green roof thus becomes directly proportional to its ability to take root in the context and transmit high-profile ecological and formal contents, capable of making the new spaces for meeting nature attractive. Thus, if green roofs are interpreted as

a characteristic element of both the shape of the city and contemporary architecture, they contribute to a progressive (and necessary) rewriting of design theory, i.e. of that discipline capable of framing the tremendous cultural issues that guide today's design practice within a global context, influenced by local specificities: a practicable intellectual and critical palimpsest to take in the effects of professional practice and rework

them through a direct dialogue with the actors involved in the construction industry and the planning processes of the city and the territory, in order to calibrate their future directions and identify the transdisciplinary contributions capable of influencing their practices.

## Notes

1) Proponents of the so-called 'smart density' establish some sustainability criteria to identify the most suitable urban areas to be densified in order to avoid, for example, green areas being relegated to the margins of the city; all agree, in any case, on the need for mixed-use and functions, both for architecture and green spaces (Boverket, 2017).

2) Transient equilibrium condition of a system characterized by the possibility of becoming, which changes to a new equilibrium condition if provided with sufficient energy.

3) According to Olgyay (1963), the aesthetic-formal implications of architecture derive from the organisational and technological rationality inherent in regional climate analysis.

## References

- Angel, S., Parent, J., Civco, D. L., Blei, A. and Potere, D. (2011), "The dimensions of global urban expansion – Estimates and projections for all countries, 2000-2050", in *Progress in Planning*, vol. 75, issue 2, pp. 53-107. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.progress.2011.04.001 [Accessed 19 April 2022].
- Arpa, J. and Ravon, A. (2019), "Ricoprire di boschi la città – Il tuffo verde | The green dip – Covering the city with a forest", in *Domus*, n. 1037, pp. 718-723.
- BIG – Bjarke Ingels Group (2017), *Hot to Cold – An Odyssey of Architectural Adaptation*, Taschen, Köln.
- Boeri, S. (2021), *Urbania*, Laterza, Bari-Roma.
- Bologna, A. (2021), "Verso una teoria della progettazione nell'era della crisi climatica", in *Archi*, vol. 3, pp. 13-17. [Online] Available at: spaziuzum.ch/it/archi3-21\_bologna [Accessed 19 April 2022].
- Boverket (2017), *Urban Density Done Right – Ideas on densification of cities and other communities*, Boverket, Karlskrona. [Online] Available at: boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2017/urban-density-done-right.pdf [Accessed 19 April 2022].
- Capra, F. (2006), *La rete della vita – Perché l'altruismo è alla base dell'evoluzione*, RCS libri, Milano.
- Clément, G. (2010), *Elogio delle vagabonde – Erbe, arbusti e fiori alla conquista del mondo*, Derive Approdi, Roma.
- Dunnett, N. (2019), *Naturalistic Planting Design – The Essential Guide*, Filbert Press, London.
- Dunnett, N. and Hitchmough, J. (eds) (2004), *The Dynamic Landscape – Design, Ecology and Management of Naturalistic Urban Planting*, Spon Press, London & New York. [Online] Available at: doi.org/10.4324/9780203402870 [Accessed 19 April 2022].
- Eurostat (2021), *Eurostat Regional Yearbook*, Publications Office of the European Union, Luxembourg. [Online] Available at: ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-statistical-books/-/ks-ha-21-001 [Accessed 19 April 2022].
- Farina, A. (2021), *Ecosemiotic Landscape – A Novel Perspective for the Toolbox of Environmental Humanities*, Cambridge University Press, Cambridge. [Online] Available at: doi.org/10.1017/9781108872928 [Accessed 19 April 2022].
- Feng, J., Zhenning, F. and Peterman, S. (2018), "Roof", in Koolhaas, R. (ed.), *Elements of Architecture*, Taschen, Köln, pp. 386-541.
- Ferrini, F. (2020), "Salute, benessere ed equità sociale nelle città del futuro – Quale sarà il ruolo del verde?", in Toppetti, F. and Ferretti, L. V. (eds), *La cura delle città – Politiche e progetti*, Quodlibet, Macerata, pp. 41-47.
- Filippi, O. (2020), *Alternatives au gazon*, Actes Sud, Arles.
- Florineth, F. (2007), *Piante al posto del cemento – Manuale di Ingegneria Naturalistica e Verde Tecnico*, il Verde, Milano.
- Frampton, K. (2015), *A genealogy of modern architecture – Comparative Critical Analysis of Built Form*, Lars Müller, Zurich.
- Frampton, K. (1995), *Studies in tectonic culture – The poetics of construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture*, The MIT Press, Cambridge (MA).
- Furlani Pedoja, A. (2000), "La Promenade Plantée – Una ferrovia parigina trasformata in giardino", in *Architettura del Paesaggio*, n. 4, pp. 25-29.
- Giran, M. (2015), *Développement durable, écologie, réchauffement climatique – Des solutions, rien que des solutions*, Maxima Laurent du Mesnil, Paris.
- Grullón-Penkova, I. F., Zimmerman, J. K. and González, G. (2020), "Green roofs in the tropics – Design considerations and vegetation dynamics", in *Heliyon*, vol. 6, issue 8, e04712, pp. 1-8. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04712 [Accessed 19 April 2022].
- Hickel, J. and Kallis, G. (2019), "Is Green Growth Possible?", in *New Political Economy*, vol. 25, issue 4, pp. 469-486. [Online] Available at: doi.org/10.1080/13563467.2019.1598964 [Accessed 19 April 2022].
- Ingegnoli, V. (2015), *Landscape Bionomics*, Springer-Verlag, Milano. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-88-470-5226-0 [Accessed 19 April 2022].
- Jorge, C. (2015), "Macro meteorology, electricity and micro-gravity of dry landscape in Spain", in *Landscape Architecture and Art | Scientific Journal of Latvia University of Agriculture*, vol. 7, n. 7, pp. 80-86. [Online] Available at: llufb.llu.lv/Raksti/Landscape\_Architecture\_Art/2015/VOL7/Latvia-Univ-Agriculture\_Landscape\_Architecture\_Art\_VOL7\_2015.pdf [Accessed 19 April 2022].
- Latour, B. (2010), "An Attempt at a Compositionist Manifesto", in *New Literary History*, vol. 41, issue 3, pp. 471-490. [Online] Available at: jstor.org/stable/40983881 [Accessed 19 April 2022].
- Lucas, N. (2011), *Designing with Grasses*, Timber, London.
- Mancuso, S. (2019), *La nazione delle piante*, Laterza, Roma-Bari.
- Mazzino, F. (2020), "Architettura del paesaggio – Crisi ambientale ed emergenza climatica", in Burlando, P., Cortesão, J., Mazzino, F. and Piel, C. (eds), *Nuove sfide per l'architettura del paesaggio contemporaneo – Un ritorno verso la natura*, Altralinea, Firenze, pp. 16-31.
- Melli, S. (2021), "Partecipazione e approccio ai nuovi paesaggi – Percezione del verde pensile come opportunità di rigenerazione dell'ecosistema urbano", in Frank, M. and Pilutti Namer, M. (eds), *La Convenzione Europea del Paesaggio vent'anni dopo (2000-2020) – Ricezione, criticità, prospettive*, Fondazione Università Ca' Foscari, Venezia, pp. 235-241. [Online] Available at: doi.org/10.30687/978-88-6969-562-9/020 [Accessed 19 April 2022].
- Munafò, M. (ed.) (2020), *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*, Report SNPA 15/20. [Online] Available at: snpambiente.it/wp-content/uploads/2020/07/Rapporto\_consumo\_di\_suolo\_2020\_31luglio.pdf [Accessed 19 April 2022].
- MVRDV (2021), *Rooftop Catalogue*, Rotterdamse Dakendagen, Rotterdam.
- Neuman, M. (2005), "The Compact City Fallacy", in *Journal of Planning Education and Research*, vol. 25, issue 1, pp. 11-26. [Online] Available at: doi.org/10.1177/0739456X04270466 [Accessed 19 April 2022].
- Oechslin, W. (1987), "Les Cinq Points d'une Architecture Nouvelle", in *Assemblage*, n. 4, pp. 82-93. [Online] Available at: jstor.org/stable/3171037 [Accessed 19 April 2022].
- Olgyay, V. (1963), *Design with Climate – Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism – New and expanded Edition*, Princeton University Press, Princeton.
- Oudolf, P. and Kingsbury, N. (2013), *Planting – A New Perspective*, Timber, Portland-London.
- Reinberg, G. W. (2008), *Ecological Architecture – Design, Planning, Realization*, Springer, Wien-New York.
- Rifkin, J. (2019), *The Green New Deal – Why the fossil fuel civilization will collapse by 2028, and the bold economic plan to save life on earth*, St. Martin's Griffin, New York.
- Santolini, R. and Morri, E. (2017), "Criteri ecologici per l'introduzione di sistemi di valutazione e remunerazione dei Servizi Ecosistemici (SE) nella progettazione e pianificazione", in *La dimensione europea del consumo di suolo e le politiche nazionali*, CRCS Rapporto 2017, INU, Roma, pp. 149-154.
- Shigematsu, S. and Long, J. (2021), *OMA NY – Search Term*, Rizzoli, New York.
- Tabb, P. J. (2021), *Biophilic Urbanism – Designing resilient communities for the future*, Routledge, New York.
- Tabb, P. J. and Deviren, A. S. (2014), *The greening of architecture – A critical history and survey of contemporary sustainable architecture and urban design*, Ashgate, Farnham.
- Teller, J. (2021), "Regulating urban densification – What factors should be used?", in *Buildings and Cities*, vol. 2, issue 1, pp. 302-317. [Online] Available at: doi.org/10.5334/bc.123 [Accessed 19 April 2022].
- VanderGoot, J. (2018), *Architecture and the Forest Esthetic – A new look at design and resilient urbanism*, Routledge, New York.
- Voghera, A. (2015), "Resilience Through Community Landscape Project", in *UNISCAPE En-Route*, a. 1, n. 2, pp. 103-108. [Online] Available at: iris.polito.it/retrieve/handle/11583/2638390/101949/UNISCAPE%20En%20Route%20n.2.pdf [Accessed 19 April 2022].
- WOHA and Bingham-Hall, P. (2016), *Garden City Mega City – Rethinking cities for the age of global warming*, Pesaro Publishing, Singapore.
- Wu, J. and Loucks, O. L. (1995), "From Balance of Nature to Hierarchical Patch Dynamics – A Paradigm Shift in Ecology", in *The Quarterly Review of Biology*, vol. 70, issue 4, pp. 439-466.

## VERSO UNA NUOVA ECOLOGIA DELL'ABITARE CONDIVISO

Verde tecnologico e Internet of Nature

## TOWARDS A NEW ECOLOGY OF SHARED LIVING

Technological greenery and the Internet of Nature

Oscar Eugenio Bellini, Giuseppe Ruscica, Vittorio Paris

### ABSTRACT

La necessità di realizzare architetture ecofriendly spinge sempre più i progettisti all'acritica integrazione del materiale vegetale all'abitare condiviso senza considerare l'importanza del coinvolgimento bottom-up degli utenti. L'abbinamento dei sistemi Internet of Things e della digitalizzazione ai benefici naturalmente prodotti dal verde potrebbe, viceversa, promuoverne una partecipazione consapevole e proattiva, anche dal punto di vista della sua manutenzione e gestione. Richiamando i vantaggi dell'ibridazione fra abitare condiviso e natura, il saggio propone un'articolata tassonomia degli ambiti spaziali inverditi gestibili grazie a un innovativo sistema Internet of Nature sostenendo come, grazie alla vegetazione e alla sensoristica, sia possibile supportare la 'sfida ecologica al cambiamento', promuovere la costruzione di una rinnovata identità sociale e rafforzare il senso di appartenenza.

The need to create eco-friendly architecture is increasingly pushing designers to uncritically integrate greenery into shared living without considering the importance of bottom-up user involvement. The combination of Internet of Things systems and digitalisation with the benefits naturally generated by greenery could, on the contrary, promote conscious and proactive participation, including in terms of its maintenance and management. The present study recalls the advantages of the hybridization between shared living and nature and proposes an articulated taxonomy of the reversed spatial environments that can be managed through an innovative Internet of Nature system, arguing how vegetation and sensors can support the 'ecological challenge for change', promote the construction of a renewed social identity and strengthen a sense of belonging.

### KEYWORDS

social housing, verde tecnologico, internet of nature, internet of things, controllo ambientale

social housing, technological greenery, internet of nature, internet of things, environmental control

**Oscar Eugenio Bellini**, Architect and PhD, is an Associate Professor of Architectural Department of Architecture, Built Environment and Construction Engineering of the Politecnico di Milano (Italy). His research focuses on the issues of product and process innovation in the field of Social Housing, student housing and the relationship between Architecture and Vegetation. Mob. +39 338/73.94.362 | E-mail: oscar.bellini@polimi.it

**Giuseppe Ruscica**, Building Engineer and PhD, is a Researcher in Building Production at the Department of Engineering and Applied Sciences of the University of Bergamo (Italy). His research focuses on tensegrity systems, EMF shielding materials and low-cost sensors for air quality monitoring. Mob. +39 349/28.90.063 | E-mail: giuseppe.ruscica@unibg.it

**Vittorio Paris**, Building Engineer and PhD, is a Researcher in Building Production at the Department of Engineering and Applied Sciences of the University of Bergamo (Italy). His research focuses on the automation and robotization of masonry construction techniques using innovative and sustainable materials. Mob. +39 349/13.26.746 | E-mail: vittorio.paris@unibg.it

Per rispondere all'innato desiderio dell'uomo di vivere a contatto con la natura, l'architettura residenziale condivisa ha progressivamente integrato al proprio interno il materiale vegetale, passando dal considerarlo un semplice valore estetico o simbolico, al riconoscergli la capacità di produrre vantaggi ambientali, economici e psicologici. La presenza della vegetazione apporta miglioramenti all'abitare in diversi modi: purifica l'aria, mitiga l'effetto isola di calore urbano, migliora la salute fisica e mentale, promuove uno sviluppo sostenibile ecc. (Tab. 1). I benefici prodotti dall'integrazione della vegetazione nello spazio domestico, anche nelle innovative forme di verde tecnologico (Bellini and Daglio, 2015), sono confermati da studi scientifici che mostrano la relazione tra indici di benessere soggettivo e ambiente circostante. Appositi indicatori misurano la soddisfazione di vita o la felicità, a dimostrazione del fatto che esiste una relazione positiva tra benessere personale e presenza della vegetazione (Tsurumi, Imauji and Managi, 2018).

In questi ultimi tempi, le inusuali espressività semantiche e iconografiche del verde tecnologico si sono soprattutto trasformate in un tangibile manifesto di adesione ai principi della sostenibilità ambientale (Roger, 2002). Tale processo è stato favorito dalla presenza sul mercato di sistemi e prodotti a diversi livelli di costo e a complessità variabile di applicazione, a dimostrazione di un fenomeno niente affatto effimero o transitorio (Perini, 2012). L'inverdimento nella residenza condivisa ha pertanto consolidato una fenomenologia espressiva complessa e articolata (Bellini and Daglio, 2015), utile a qualificare i differenti livelli dell'abitare e promuovere specifiche soluzioni morfo-tecno-tipologiche, più che mai richieste dal mercato immobiliare post pandemico (Fig. 1).

Mentre la letteratura scientifica persevera nell'indagare e comprendere le prestazioni che l'elemento vegetale produce a scala urbana e del singolo manufatto, non altrettanto sta avvenendo rispetto alle possibili forme di coinvolgimento e sua presa in carico, in termini gestionali e manutentivi, da parte dell'utenza. Un utile avanzamento potrebbe arrivare dall'integrare il materiale vegetale ai sistemi Internet of Things (IoT) e alle tecnologie digitali, le quali potrebbero concorrere, tramite sensori, attivatori, intelligenza artificiale e reattori fotobiotici a definire innovativi rapporti cibernetici fra naturale e artificiale e fra utenti e vegetazione; un avanzamento che contribuirebbe a produrre maggiore consapevolezza ambientale, a promuovere i principi della sostenibilità e a condividere i vantaggi dell'economia circolare e della transizione ecologica, rimettendo al centro la persona e il suo non sempre facile rapporto con l'ambiente.

Nell'ambito della dimensione ecologica del progetto di architettura, coniugare, a scala domestica, le potenzialità del digitale, in abbinamento ai sistemi di inverdimento, oltre che ricomporre la dicotomia tra ambiente naturale e artificiale, promuove l'opportunità di perseguire e sostenere i temi della biodiversità. Portare la natura online diventa la vera sfida nella gestione degli ecosistemi urbani poiché il verde può realmente migliorare il nostro rapporto con il mondo naturale, aiutare a pianificare la gestione condivisa di

città sempre più verdi e intelligenti e, soprattutto, promuovere la transizione da Internet of Things (IoT) a Internet of Nature (IoN).

**Tecnologizzare il verde: da IoT a IoN** | Gli avanzamenti tecnologici proposti dal digitale, IoT outdoor, deep learning, su minuscoli dispositivi informatici applicati alla vegetazione, consentono di passare dalla semplice messa in opera del verde all'attivazione di forme dirette di controllo dell'habitat in termini di Smart Urban Nature. Tramite dispositivi tecnologicamente sempre più intuitivi è oggi possibile prefigurare nuove visioni, che possano prevedere il diretto coinvolgimento dei residenti nella presa in carico e gestione dell'ambiente urbano, nella tutela fisica e salute ecologica della propria residenza e nella promozione della biodiversità ambientale.

La profusione di dispositivi embedded a bassissimo consumo e a costo contenuto consente la rapida automazione e controllo anche sul processo di crescita e mantenimento della vegetazione. Supporti che forniscono la possibilità di raccogliere un'enorme quantità di dati ambientali, per alimentare algoritmi di apprendimento automatico, così da creare le condizioni ideali per la crescita colturale e anche di quella edibile. La visione artificiale e il cloud computing permettono inoltre l'analisi di migliaia di immagini per identificare variazioni di dimensioni, larghezza, colore, curvatura dei vegetali, verificando in tempo reale la tenuta delle colture da qualsiasi potenziale perdita di resa o minaccia.

L'applicazione IoT agli spazi inverditi domestici consente di tracciare uccelli, monitorare gli alberi (Treemania<sup>1</sup>), contare le api (ApisProtect<sup>2</sup>) e persino ascoltare i pipistrelli (Shazam for Bats<sup>3</sup>). In questi casi ci si può avvalere di appositi dispositivi governati da quello che nel mondo del digitale viene definito, come una nuova soglia: Internet of Nature (IoN). IoN permette di monitorare, in modo innovativo, gli spazi verdi e di promuovere opportunità inusuali per comprendere, in chiave ecologica, il ruolo della natura sulle attività della città densamente abitata (Galle, Nitoslowski and Pilla, 2019; Fig. 2). Verde e IoN collaborano nell'identificare e misurare gli inquinanti indoor e outdoor dello spazio domestico, tant'è che i primi modelli monitoravano particelle sottili (PM), monossido di carbonio, anidride carbonica, benzene e composti dell'azoto, in aggiunta a temperatura e umidità ambientale. Fra le prime applicazioni sul monitoraggio della qualità dell'aria si possono ricordare quelle che hanno coinvolto alcuni sobborghi di Londra (Ma et alii, 2008); tali esperimenti hanno dimostrato come l'inquinamento dipenda dalla dislocazione urbana di alcuni servizi (scuole), in relazione al loro orario di apertura cambiava drasticamente il livello di inquinamento dovuto al traffico veicolare.

Oggi esistono sensori che monitorano in modo affidabile gli indicatori ambientali, anche se fissi (Karagulian et alii, 2019), a integrazione delle informazioni provenienti dalle stazioni ufficiali di monitoraggio a riscontro certo della effettiva qualità ambientale dello spazio urbano. Sulla raccolta e gestione domestica dei dati, tramite la partecipazione diretta della cittadinanza, si è ultimamente assistito a una eterogeneità di approcci, prevalentemente di tipo 'dinamico'. Si possono segnalare diversi progetti: SwarmBike (Corno et

alii, 2017) ha proposto di sperimentare sensori su biciclette e bike-sharing, UrVAMM (Rionda et alii, 2013) e Sense Square (Lotrecchiano et alii, 2019) hanno esplorato le potenzialità di questi dispositivi sui mezzi di trasporto urbani, per mappare contestualmente più zone della città.

L'Unione Europea ha finanziato numerose sperimentazioni e ricerche, con l'intento di interconnettere sostenibilità ambientale e Smart City, tra queste: AirSense (Dutta et alii, 2017), CITI-SENSE (Schneider et alii, 2018) e Citi-Sense-MOB (Castell et alii, 2015). Ad oggi, nessuno di questi progetti ha seriamente preso in considerazione l'opportunità e l'utilità di integrare il digitale alla vegetazione direttamente applicata allo spazio domestico. Rispetto alle questioni ambientali, la complessità del territorio, non solo come spazio fisico, ma anche come infrastruttura digitale interconnessa, richiede, oggi un approccio prevalentemente olistico, che tenga contestualmente in considerazione la pluralità dei livelli di riferimento, la condivisione delle informazioni da acquisire e la molteplicità degli attori coinvolti. Per questo è necessaria la promozione di legami fluidi e relazioni mutevoli, che massimizzino l'allargamento della platea dei soggetti coinvolti, e coinvolgibili, sui temi dell'ambiente.

La recente pandemia ha mutato il nostro rapporto con la tecnologia, sempre più presente anche nell'ambiente domestico, stimolando l'attenzione alla qualità dell'ambiente che abitiamo e le ripercussioni che si possono avere sulla salute umana. Per questa ragione, se da un lato emergono studi che provano a mettere in relazione la qualità dell'aria outdoor e indoor con i problemi di salute (Jaimini et alii, 2017), dall'altro si deve cercar di comprendere come la presenza di vegetazione all'interno e all'esterno delle unità abitative non solo produca reali benefici (Han and Ruan, 2020) ma attivi processi educativi su questi aspetti. La distanza da colmare, soprattutto nelle forme dell'abitare condiviso, rimane quella del coinvolgimento proattivo nella comunità. Troppe volte il ricorso all'integrazione domestica dell'elemento vegetale viene celebrato dai progettisti in termini 'verdolatrici', sconfinando nel greenwashing, arrivando a proporre, come è stato per l'intervento Qiyi City Forest Garden, a Cheengdu, in Cina (Fig. 3), della vegetazione inappropriata e non gestita correttamente, che ha reso inabitabili decine di alloggi, a causa dell'invasione di zanzare e altri insetti.

La comprensione di come il comportamento degli abitanti nell'abitare possa incidere sul perseguimento degli obiettivi ambientali, è mutuabile dai modelli sociali assunti nell'ambito del risparmio energetico, che può fare da riferimento per l'attivazione di una nuova ecologia dell'abitare, anche attraverso l'impiego della vegetazione (Gupta and Kapsali, 2016; Aljer et alii, 2017). Approcci che vanno nella direzione della Citizen Science, ovvero del coinvolgimento dei cittadini su base scientifica, in modo che possano verificare direttamente, acquisendone consapevolezza, i meccanismi di causa ed effetto che portano alla modificazione dell'ambiente e al potenziale miglioramento della qualità della vita.

Un impulso 'social' potrebbe arrivare, a livello di edificio, da soluzioni come quelle proposte dal progetto Wiseair<sup>4</sup> che, a partire dall'intuizione di un gruppo di universitari, ha brevettato il

## BENEFITS OF GREENING IN SOCIAL HOUSING

|   |                     |  |
|---|---------------------|--|
| 1 | Solar shading       | Thanks to the foliage, plants can provide shading to the buildings, protecting them from direct solar radiation, thus managing to create a homogeneous microclimatic interaction between vegetation and building surfaces. This mechanism modifies the energy performance of buildings, so as to favour energy saving (Perez et alii, 2014). Many experiments on vertical vegetation systems have shown that the shading coefficient has a linear correlation with the leaf area index (Wong et alii, 2009). Shading can have different effects depending on the season: during the summer, the vegetation, adequately integrated into the building façades, can act as screens to filter solar radiation (Ip, Lam and Miller, 2010). If evergreen plants are used for vertical forest systems, they can positively influence the energy consumption of the building by covering the system both during heating and cooling times. On the other hand deciduous plants, during winter, can have a minor effect on the microclimate between building surfaces and plants. During the summer months, vertical vegetation systems would have the dual effect of reducing the solar energy entering the building and reducing the heat flow (Wong et alii, 2010). With a correct design and selection of the vegetation, the energy performance of shared housing, especially with vertical development, can be improved (Marugg, 2018)   |
| 2 | Thermal insulation  | In vertical vegetation systems, the use of climbing plants and other species has shown to improve the thermal performance of façades during summer (Susorova, Azimi and Stephens, 2014). With vegetation evapotranspiration, it is understood that the external temperature of facade with vertical vegetation systems decreases in the range of 3.7-11.3, by increasing the percentage of plant foliage in the system between 13 and 54% (Besir and Cuce, 2018). Reductions in external temperatures of façades were considerable in warm climates, ranging from 12 to 20.8 °C during summer and from 5 to 16 °C during autumn (Pérez et alii, 2014). Other studies have revealed that green walls with an approximately 10 cm thick 'Hedera helix', in sunny conditions and temperate climates such as the UK, lead to an average reduction of 2.5 °C of internal wall temperature (Cuce, 2017). In Hong Kong, some experiments have revealed that a vertical green wall can save up to 16% of electricity consumption for summer air conditioning, with daily temperatures ranging between 25-30 °C (Pan and Chu 2016). In tropical climates, a reduction in façades temperature by more than 11 °C can be recorded (Wong et alii, 2010). In Mediterranean latitudes, with a temperate climate, the energetic behaviour of the building, during sunny days, produces temperature differences between the bare wall and the covered wall ranging from 12 to 20 °C (Mazzali et alii, 2013). It should be noted that while it is possible to quantify the parametrization of leaf movement (Herrero-Huerta, Lindenbergh and Gard, 2018), the thermal benefits of vertical forest systems remain dependent on the intensity of vegetation, orientation, microclimatic conditions between wall surfaces and vegetation |
| 3 | Other environmental | Greening systems can influence the acoustic performance of buildings (Wong et alii, 2010) and improve air quality, by purifying it thanks to chlorophyll photosynthesis (Dunnett and Kingsbury 2008; Perini et alii, 2013) and filtering fine particles (Perini et alii, 2017). The improvement in air quality due to vegetation is related to the absorption of fine particles and of gaseous pollutants (Perini et alii, 2013). Technological greenery makes it possible to recreate biodiversity, especially in dense urban areas, by regenerating the habitats for native wild flora and fauna (Perini et alii, 2013), even if the biodiversity at high altitudes is not always adequate compared to that on the ground, considering the lower available soil and the different conditions of temperature, wind, etc. (Tian and Jim, 2011)   |
| 4 | Social              | It is known that people are likely to suffer from a range of medical and mental health problems if they live in areas with no green spaces. By providing a more comfortable living and working environment, it has also been shown that visual and physical contact with plants can lead to health benefits. Plants can have restorative effects that can decrease stress levels and improve work productivity (Sheweka and Magdy, 2011). Trees that grow on balconies can act as a wind barrier and create a more comfortable environment for human well-being  |
| 5 | Economic            | Greening systems, applied to residential buildings, can also produce important benefits from an economic point of view, especially in terms of management costs, since they optimize energy performance during the months in which heating or cooling is necessary. This eventhough energy losses are caused by other factors such as age and type of building, climate, materials of the envelope and behaviour of the occupants. It has been shown that through a vertical greening system, in humid and cold climates, it is possible to achieve energy savings of 18% (Xing et alii, 2019), as in the Hong Kong example  |

## Scientific Literature

- Besir, A. B. and Cuce, E. (2018), "Green roofs and façades – A comprehensive review", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, part 1, pp. 915-939. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.106 [Accessed 20 March 2022].
- Cuce, E. (2017), "Thermal regulation impact of green walls – An experimental and numerical investigation", in *Applied Energy*, vol. 194, pp. 247-254. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.079 [Accessed 20 March 2022].
- Dunnett, N. and Kingsbury, N. (2008), *Planting green roofs and living walls*, Timber Press, Portland.
- Herrero-Huerta, M., Lindenbergh, R. and Gard, W. (2018), "Leaf movements of indoor plants monitored by terrestrial LiDAR", in *Frontiers in Plant Science*, vol. 9, article 189, pp. 1-9. [Online] Available at: doi.org/10.3389/fpls.2018.00189 [Accessed 20 March 2022].
- Ip, K., Lam, M. and Miller, A. (2010), "Shading performance of a vertical deciduous climbing plant canopy", in *Building and Environment*, vol. 45, issue 1, pp. 81-88. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.05.003 [Accessed 20 March 2022].
- Marugg, C. (2018), *Vertical forests – The impact of green balconies on the microclimate by solar shading, evapotranspiration and wind flow change*, Delft University of Technology, Delft.
- Mazzali, U., Peron, F., Romagnoni, P., Pulselli, R. M. and Bastianoni, S. (2013), "Experimental investigation on the energy performance of living walls in a temperate climate", in *Building and Environment*, vol. 64, pp. 57-66. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.03.005 [Accessed 20 March 2022].
- Pan, L. and Chu, L. M. (2016), "Energy saving potential and life cycle environmental impacts of a vertical greenery system in Hong Kong – A case study", in *Building Environment*, vol. 96, pp. 293-300. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.06.033 [Accessed 20 March 2022].
- Pérez, G., Coma, J., Martorell, I. and Cabeza, L. F. (2014), "Vertical greenery systems (VGS) for energy saving in buildings – A review", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 39, pp. 139-165. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.055 [Accessed 20 March 2022].
- Perini, K., Ottelè, M., Giuliani, S., Magliocco, A. and Roccotiello, E. (2017), "Quantification of fine dust deposition on different plant species in a vertical greening system", in *Ecologic Engineering*, vol. 100, pp. 268-276. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.12.032 [Accessed 20 March 2022].
- Perini, K., Ottelè, M., Haas, E. and Raiteri, R. (2013), "Vertical greening systems, a process tree for green façades and living walls", in *Urban Ecosystem*, vol. 16, pp. 265-277. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11252-012-0262-3 [Accessed 20 March 2022].
- Sheweka, S. and Magdy, Arch. N. (2011), "The living walls as an approach for a healthy urban environment", in *Energy Procedia*, vol. 6, pp. 592-599. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.egypro.2011.05.068 [Accessed 20 March 2022].
- Susorova, I., Azimi, P. and Stephens, B. (2014), "The effects of climbing vegetation on the local microclimate, thermal performance, and air infiltration of four building façade orientations", in *Building and Environment*, vol. 76, pp. 113-124. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.011 [Accessed 20 March 2022].
- Tian, Y. and Jim, C. Y. (2011), "Factors influencing the spatial pattern of sky gardens in the compact city of Hong Kong", in *Landscape and Urban Planning*, vol. 101, issue 4, pp. 299-309. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.02.035 [Accessed 20 March 2022].
- Wong, N. H., Kwang Tan, A. Y., Chen, Y., Sekar, K., Tan, P. Y., Chan, D., Chiang, K. and Wong, N. C. (2010), "Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls", in *Building and Environment*, vol. 45, issue 3, pp. 663-672. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.005 [Accessed 20 March 2022].
- Wong, N. H., Tan, A. Y. K., Tan, P. Y. and Wong, N. C. (2009), "Energy simulation of vertical greenery systems", in *Energy and Buildings*, vol. 41, issue 12, pp. 1401-1408. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.08.010 [Accessed 20 March 2022].
- Xing, Q., Hao, X., Lin, Y., Tan, H. and Yang, K. (2019), "Experimental investigation on the thermal performance of a vertical greening system with green roof in wet and cold climates during winter", in *Energy and Buildings*, vol. 183, pp. 105-117. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.038 [Accessed 20 March 2022].

Tab. 1 | The benefits of greening in social housing according to the scientific literature (credit: O. E. Bellini, 2022).



Fig. 1 | Possible ways of applying vegetation to social housing (credit: O. E. Bellini, 2022).

vaso da balcone Arianna, contenitore per piante dotato di sensori che, non solo rileva alcuni inquinanti atmosferici, ma può fare da base per attivare una comunità digitale sensibile. A scala urbana, il progetto imprenditoriale Airly, di più ampia portata, ha richiesto il coinvolgimento di alcune Amministrazioni pubbliche promuovendo l'utilizzo di una rete di sensori interconnessi così da acquisire dati ambientali e pianificare possibili contromosse (Bielecki and Kaźmierczak, 2018). In questo progetto i dati sulla qualità dell'aria vengono resi visibili tramite un portale web, per cui una serie di sensori diventano parte attiva di un sistema urbano complesso creando un 'tutto' interconnesso, una Smart City, che affronta, in termini adattivi, le sfide ecologiche del futuro.

In questo contesto si inserisce la cosiddetta infrastruttura Smart Urban Garden, che fa uso del digitale in abbinamento alla vegetazione, in modo da condividere, tramite una piattaforma, una pluralità di dati e informazioni. Questo supporto informatico si avvale del Beacon Sensitive Walk, un piccolo radiotrasmittitore Bluetooth interconnesso con specifici ambiti inverditi, attivabile su smartphone o tablet, che restituisce i contenuti sulla biodiversità e sullo stato di salute del materiale vegetale, e del suo immediato intorno. Questi sensori, facilmente applicabili all'organismo edilizio, permettono il monitoraggio, in tempo reale, delle azioni che la vegetazione produce sulla qualità dell'aria urbana, monitorano i flussi di visitatori e controllano gli accessi sui con-

nettivi di distribuzione della residenza, facilitano i processi cooperativi e collaborativi tra i soggetti coinvolti nella cura del verde, studiano lo stato della biodiversità, monitorano specie animali e vegetali. Queste informazioni vengono interpolate con le condizioni atmosferiche e restituiscono informazioni sullo stato di salute delle colture; i dati raccolti possono inoltre essere elaborati, archiviati e riutilizzati.

Sistemi di identificazione a radiofrequenza (RFID) sono stati proposti, a scala urbana, in ottica IoN, per la gestione e protezione degli alberi (Luvisi and Lorenzini, 2014). Contemporaneamente, impianti intelligenti, integrati e connessi all'infrastruttura delle Smart City, sono a tutt'oggi impiegati in Germania (Gimpel et alii, 2021). Il





**Fig. 2 |** Smart Urban Nature: My NatureWatch camera; Interior of EchoBox showing Intel Edison and Ultrasonic Microphone; EchoBox in Queen Elizabeth Olympic Park by Natures Smart Cities; Arianna, the smart vase that detects air pollution (credit: Nature Smart Cities, 2021).



**Fig. 3 |** Photos taken with a drone show an aerial view of the Qiyi City Forest Garden residential buildings complex in Chengdu, China, without any tenants to care for them, the eight towers have been overrun by their plants – and invaded by mosquitoes (credit: EPA, 2020).

coinvolgimento diretto della cittadinanza è stato promosso per sistemi automatici di coltivazione aeroponica basati su dispositivi IoT (Kerns and Lee, 2017). Sul tema della coltivazione in giardini verticali, molteplici implementazioni e sperimentazioni sono state documentate in Halgauge et alii (2021). Questi studi attestano, fra le altre cose, come l'impiego dei sistemi digitali sia oramai collaudato e pronto per coinvolgere l'utenza domestica dell'abitare condiviso.

**Inverdimento e sensoristica digitale: configurazioni e fruibilità** | L'integrazione fra vegetazione e sensoristica digitale può avvenire negli spazi orizzontali o verticali e negli interni o esterni domestici (Tab. 2). L'eterogeneità delle applicazioni, la diversità dei costi di realizzazione, nonché le articolate modalità manutentive possono essere ricondotte a due macrosistemi: verde tecnologico orizzontale e verticale. Il primo include tetti verdi e foreste sopraelevate (Fig. 4), il secondo facciate verdi, pareti verdi e boschi verticali (Bartesaghi, Osmond and Peters, 2017; Fig. 5). La decodifica degli aspetti figurativi dell'applicazione della vegetazione, riferita al dato percettivo e geometrico/formale, può essere ricondotta a: punto, linea, superficie e volume (Fig. 6). Il verde può essere considerato in relazione

alla sua effettiva accessibilità e/o praticabilità e in ragione degli ambiti spaziali di applicazione nella residenza (Figg. 7, 8).

Rispetto all'integrazione fra IoT e vegetazione è necessaria una definizione più articolata, basata sulle classi di unità tecnologiche dell'organismo edilizio, con riferimento alla classe esigibile della fruibilità (Norma UNI 8289:1991). Questo dato consente l'interpretazione fenomenologica di questa integrazione, definendo il livello di gestione diretta di questi dispositivi: una tassonomia che restituisce l'articolazione dei diversi livelli di accessibilità fisica e spaziale dell'elemento verde, dei sistemi IoT e della relativa unità tecnologica (Tabb. 3-5). Nell'abitare condiviso il rapporto di fruibilità della vegetazione e degli apparati sensoristici è riconducibile a tre gradi o livelli di spazio: privato (soggiorni, camere, ingressi privati ecc.), semi privato (balconi, terrazze, logge, bow-window ecc.), semipubblico (connettivi verticali e orizzontali, spazi comuni ecc.).

A) Fruibilità nello spazio privato – L'elemento vegetale viene introdotto direttamente dall'utente nello spazio domestico in relazione ai benefici che il materiale vegetale arreca e al fatto che la vegetazione produce organismi che fanno bene al nostro corpo in termini terapeutici. Le essen-

ze più usuali sono le 'piante da appartamento' (Hessayon, 2014) e le erbe aromatiche che creano orti indoor domestici. Il bisogno di riscoprire all'interno degli alloggi il contatto con la vegetazione ha promosso il Natural Design, una tendenza avanzata del Green Design, che concorre a diffondere i principi della sostenibilità con oggetti e arredi che integrano la vegetazione (Corrado, Ferrari and Crea, 2013). Le manifestazioni più evidenti sono gli eco-wall o living wall, pannelli modulari a parete, con cui realizzare, negli interni, superfici invedite o giardini verticali. Questi sistemi arricchiscono la figurazione spaziale, ambientale e biologica degli spazi abitati confinati, generando inusuali paesaggi verdi (Blanc, 2005), che se integrati da sensori, possono monitorare direttamente le condizioni di benessere ambientale e confort dello spazio privato.

B) Fruibilità nello spazio semi privato – La recente pandemia ha evidenziato come nell'abitare condiviso, spesso non siano presenti adeguati spazi aperti in quota, quali surrogati del giardino privato. Le manifestazioni più dirette di questo tipo di spazio sono i balconi, le logge e i patii. In questi ambiti si marca il passaggio di stato tra esterno e interno (e viceversa), cioè il momento in cui lo spazio si coniuga con le istanze dell'urbanità (Kuntscher and Wietzorrek, 2010), defi-

## TECHNOLOGICAL GREENING SYSTEMS

|                            |   |                             |  |
|----------------------------|---|-----------------------------|--|
| Horizontal greening system | Green roofs and roof gardens have historically been the first forms of integration of vegetation into the built environment. These are the vegetated surfaces endowed with a substrate of organic material. Green roofs are divided into intensive, semi-intensive and extensive, according to the depth of the substrate (which feeds the vegetation) and use of the roof. In highly urbanized areas, they provide different ecosystem services: improved stormwater management, increased regulation of building temperatures, increased sound insulation (Dunnett and Kingsbury, 2008), heat island control (Besir and Cuce, 2018), restoration biodiversity (Oberndorfer et alii, 2007). These environmental benefits are accompanied by limited costs, relative lightness and easy applicability. A recent form of horizontal vegetation is high-altitude forest, trees that grow in sheltered horizontal spaces | Intensive green             |  |
|                            |   | Semi-intensive green        |  |
|                            |   | Extensive green             |  |
| Vertical greening system   | These systems make it possible to place vegetation on the facades of buildings (Pérez-Urrestarazu et alii, 2015). They are called vertical gardens, green walls, vertical green or Green Skyrise (Timur and Karaca, 2013). The system for verticalising the vegetation consists of four components: vegetation, substrate, containers and support systems, which also integrate the irrigation systems. In relation to the growth modes of the plant component, there are: green façades, green walls, green terraces and vertical woods (Marugg, 2018)   | Green façade                | The vegetation is rooted in the ground and uses the walls as a support for vertical growth (traditional direct systems) or, the facade of the building becomes the mechanical support of independent systems, such as pylons, wires, cables or networks – indirect double skin (Fernández-Cañero et alii, 2018)  |
|                            |   | Green wall                  | Greening system achievable through the use of geotextile, pots, panels, boxes or modular nets. In this case, it is possible to plant previously cultivated vegetation that are subsequently suspended and fixed to the building (Bartesaghi Koc, Osmond and Peters, 2017). Green walls require more complex methods of installation and involve higher installation and maintenance costs, compared to simple green façades (Bellini and Daglio, 2009)   |
|                            |   | Green terrace               | Open surfaces, placed at a height, on the perimeter of the façade and at the different levels of inhabited floor. These surfaces are completed with shrub vegetation that grows in the open air  |
|                            |   | Vertical forest engineering | High-altitude engineered forests, which are a relatively new field for architects, botanists and structural engineers. They require more in-depth studies regarding plant and tree species, nutritional and growth conditions (e.g. root system development in limited soil space, sunlight, prevailing winds, neighbouring façades). In these cases, the engineering aspects necessary for the control of horizontal loads (wind, earthquakes, etc.) and the stability of the trees over time must also be taken into account |

## Scientific Literature

- Bartesaghi Koc, C., Osmond, P. and Peters, A. (2017), "Towards a comprehensive green infrastructure typology – A systematic review of approaches, methods and typologies", in *Urban Ecosystems*, vol. 20, issue 1, pp. 15-35. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11252-016-0578-5 [Accessed 20 March 2022].
- Bellini, O. E. and Daglio, L. (2009), *Verde verticale – Aspetti figurativi, ragioni funzionali e soluzioni tecniche nella realizzazione di living walls e green façades*, Maggioli, Santarcangelo di Romagna.
- Besir, A. B. and Cuce, E. (2018), "Green roofs and façades: a comprehensive review", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, part 1, pp. 915-939. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.106 [Accessed 20 March 2022].
- Dunnett, N. and Kingsbury, N. (2008), *Planting green roofs and living walls*, Timber Press, Portland.
- Fernández-Cañero, R., Pérez Urrestarazu, L. and Perini, K. (2018), "Vertical greening systems – Classifications, Plant Species, Substrates", in Pérez, G. and Perini, K. (eds), *Nature based strategies for urban and building sustainability*, Butterworth-Heinemann, Oxford, pp. 45-54. [Online] Available at: doi.org/10.1016/B978-0-12-812150-4.00004-5 [Accessed 20 March 2022].
- Marugg, C. (2018), *Vertical forests – The impact of green balconies on the microclimate by solar shading, evapotranspiration and wind flow change*, Delft University of Technology, Delft.
- Oberndorfer, E. et alii (2007), "Green roofs as urban ecosystems – Ecological structures, functions, and services", in *BioScience*, vol. 57, issue 10, pp. 823-833. [Online] Available at: doi.org/10.1641/B571005 [Accessed 20 March 2022].
- Pérez-Urrestarazu, L., Fernández-Cañero, R., Franco-Salas, A. and Egea, G. (2015), "Vertical greening systems and sustainable cities", in *Journal of Urban Technology*, vol. 22, issue 4, pp. 65-85. [Online] Available at: doi.org/10.1080/10630732.2015.1073900 [Accessed 20 March 2022].
- Timur, Ö B. and Karaca, E. (2013), "Vertical gardens", in Ozyavuz, M. (ed.), *Advances in landscape architecture*, InTech, London, pp. 587-622.

Tab. 2 | The most common greening systems: Horizontal systems and vertical systems (credit: O. E. Bellini, 2022).



**Fig. 4** | Examples of horizontal greenery systems: Bjarke Ingels Group, House 8, Denmark, 2010; Agence Engasser + Associés, 104 logements à Ivry-sur-Seine, France, 2017 (credits: J. Lanoo, 2010; M. Denancé and M. Ducros, 2017).



**Fig. 5** | Examples of vertical greenery systems: Stefano Boeri Architetti, Easyhome Huanggang Vertical Forest, China, 2021; Harry Glück and Partners, Wohnpark Alterlaa, Austria, 1976 (credits: RAW VISION studio, 2021; H. Glück, 1976).

nendo la situazione ideale per promuovere l'integrazione fra vegetazione e digitale, in un rapporto intimo e diretto tra interno domestico, vegetazione outdoor e ambiente urbano. Questi spazi, spesso considerati, luoghi aggiuntivi, superflui, privi di utilità, sono tornati a essere ambienti indispensabili per il benessere abitativo.

C) Fruibilità nello spazio semipubblico – La dimensione spaziale che connota più di altre la residenza sociale e la dimensione condivisa dell'abitare è quella semi pubblica, che si identifica nei ballatoi, corridoi di distribuzione, pianerottoli, scale ecc., luoghi che raccordano e interconnettono dimensione domestica e collettiva. Gli spazi semipubblici, oltre alla funzione distributiva, definiscono i luoghi delle relazioni fra individuo e gruppo di vicinato, valorizzano l'incontro, la condivisione, il confronto e la cooperazione. L'inverdimento di questi spazi, oltre che riscattare l'aspetto anonimo e di servizio, li trasforma in luoghi connotati e denotati: ambiti piacevoli e gradevoli di cui, tutti insieme, farsi carico in termini gestionali e manutentivi, perché vi si promuovono relazioni sociali, senso di comunità e di appartenenza.

**Considerazioni finali** | L'integrazione della sensoristica alla vegetazione può contribuire a delineare i contorni di una nuova dimensione del progetto di architettura per l'abitare condiviso, quale ambito di connessioni multiple e interagenti in grado di risolvere criticamente la dicotomia fra naturale e artificiale. L'abitare con gli altri prospetta sicuramente un contesto promettente di sperimentazione, dove i sistemi tecnologizzati per l'inverdimento possono svolgere un ruolo ecologico importante, anche in termini di coinvolgimento educativo dell'utenza, così da promuovere la consapevolezza e integrazione del ruolo dei cicli biologici, in maniera analoga a quella degli ecosistemi naturali, rendendoli più efficienti e sostenibili.

Le tecnologie digitali stanno modificando, con modalità sempre più pervasive, la comprensione della realtà e i modi di abitare, generando inusuali approcci cognitivi e interpretativi. Il nostro habitat, con la sua straordinaria ricchezza di informazioni, ha sempre meno bisogno di supporti materiali ed è sempre meno analogico. I sistemi IoT offrono inedite e innumerevoli opportunità di sperimentazione per pianificare strategie e soluzioni innovative e per dare risposte concrete alla crescente complessità di un fare architettura fortemente condizionata da crisi e minacce ecologiche senza precedenti.

Il mondo digitale può generare una svolta epistemologica segnando la transizione da una conoscenza manipolatrice della realtà, fondata su logiche deterministiche e riduzioniste, a una 'conoscenza complessa' (Morin, 1993). Una dimensione nella quale l'accrescimento delle relazioni tra saperi, discipline, utenti e attori, anche afferenti a mondi differenti, diventa strategica, per giungere alla comprensione dei fenomeni generativi basilari, non solamente per coglierne la complessità, ma per trasferire le logiche in processi che sappiano rapportarsi in modo sistemico e adattivo all'ambiente in cui si inseriscono.

Integrare mondo vegetale e mondo digitale prefigura anche uno 'spostamento scalare' delle molteplici discipline che afferiscono al proget-

to di architettura, quali componenti di un sistema unificato, chiamato a dare risposte non solo all'essere umano ma anche alle altre forme viventi, in un rapporto di profonda conoscenza e comprensione delle rispettive necessità e traiettorie. La relazione tra le differenti componenti dell'ecosistema abitativo assume un'importanza nevralgica quando adottiamo una visione più ampia e sistemica, supportata da un approccio olistico e partecipativo; in questo caso la tecnologia digitale promuove una 'cyber ecology', basata su una 'doppia convergenza', che consente di interpretare mondo naturale e artificiale come un tutt'uno (Ratti and Belleri, 2020).

Molte delle nostre città stanno diventando sempre più digitali (dalle auto che si guidano da sole alle reti intelligenti e ai segnali stradali reattivi): vere e proprie Smart City che mettono i dati e la tecnologia digitale al centro per promuovere l'efficienza e migliorare la qualità della vita delle persone. La natura online è sicuramente la prossima tappa nei processi per la gestione degli ecosistemi evoluti: ciò cambierà il nostro modo di rapportarci con il mondo naturale all'interno dello spazio urbano. L'introduzione dei sistemi IoT può aiutare a colmare il divario tra città più verdi, più intelligenti e la gestione degli ecosistemi urbani. Avvalersi di IoT significa promuovere l'autosufficienza e la resilienza nella gestione di questi ecosistemi, così da migliorare le connessioni fra dimensione urbana, sociale ed ecologica (Fig. 9).

L'integrazione fra naturale e digitale prelude a un avanzamento culturale e ideologico nel controllo e gestione delle informazioni legate all'ambiente secondo una nuova prospettiva: la Smart Nature City. Una nuova ecologia che, soprattutto nelle giovani generazioni, incoraggia sensibilità e modelli di vita ambientalmente virtuosi, a partire dalla definizione di forme innovative per stare insieme, socializzare, condividere, incontrarsi. Un'interazione che potenzialmente supporta possibili nuove microeconomie domestiche e favorisce il coinvolgimento degli utenti nella cura e manutenzione degli ambiti semi pubblici della residenza, a sostegno di forme di integrazione sociale, confronti intergenerazionali e multietnici e momenti di crescita civica e culturale. Nell'abitare inverdito si innescano e agiscono processi virtuosi di partecipazione, identificazione e senso di appartenenza, momenti che attivano sensibilizzazioni verso le tematiche dell'ecologia in ottica di Citizen Science, incoraggiando un approccio al bene casa, anche in termini di sharing economy. La casa diventa così risorsa durevole più strumentale che simbolica, con l'effetto di portare le giovani generazioni a interessarsi molto di più verso l'uso ecologico di tale bene, piuttosto che a detenerne il possesso.

In response to man's innate desire to live in contact with nature, social housing architecture has gradually incorporated vegetation, previously considered a mere aesthetic or symbolic value, and now recognized as capable of producing environmental, economic and psychological benefits. The presence of vegetation improves living in various ways: it purifies the air, mitigates the urban heat island effect, improves physical and mental health, promotes sustainable development,

etc. (Tab. 1). The benefits of integrating vegetation into the domestic space, particularly with innovative forms of technological greenery (Bellini and Daglio, 2015), are confirmed by scientific studies that demonstrate the relationship between indices of subjective wellbeing and the surrounding environment. Appropriate indicators measure life satisfaction or happiness, revealing a positive correlation between personal well-being and the presence of vegetation (Tsurumi, Imauji and Managi, 2018).

In recent times, the unusual semantic and iconographic expressions of technological greenery have, above all, become a tangible manifesto in support of the principles of environmental sustainability (Roger, 2002). The market presence of systems and products with varying cost levels and application complexity has favoured this process, demonstrating a phenomenon that is by no means ephemeral or transitory (Perini, 2012). Therefore, greening in shared living spaces has consolidated a complex and articulated expressive phenomenology (Bellini and Daglio, 2015), which is useful to classify different levels of living

and promote specific morpho-techno-typal solutions, more than ever required by the post-pandemic housing market (Fig. 1).

While scientific literature persists in investigating and understanding the performance of the green element both at the urban scale and within individual buildings, the same cannot be said regarding the possible forms of user involvement and responsibility in terms of management and maintenance. Useful progress could come from integrating plant material with Internet of Things (IoT) systems and digital technologies, which could contribute, for example, through sensors, activators, artificial intelligence and photobiotic reactors to define innovative cybernetic relationships between natural and artificial as well as between users and vegetation. This advancement would help produce greater environmental awareness, promote the principles of sustainability and share the benefits of the circular economy and ecological transition, focusing on the individual and the sometimes-challenging relationship with the environment.

As part of the ecological dimension of archi-

tectural design, combining the potential of digital technology with greening systems on a domestic scale not only recomposes the dichotomy between the natural and artificial environment but also promotes the opportunity to pursue and support biodiversity issues. Bringing nature online becomes the real challenge in managing urban ecosystems. Greenery can genuinely improve our relationship with the natural world, help plan the shared management of increasingly green and smart cities and, above all, promote the transition from the Internet of Things (IoT) to the Internet of Nature (IoN).

**Technology for Greenery: from IoT to IoN |**

Technological advances proposed by digital systems, outdoor IoT and deep learning, on tiny computer devices applied to vegetation, support the transition from the simple implementation of green areas to the activation of direct forms of habitat control in terms of Smart Urban Nature. Through increasingly intuitive technological devices, it is now possible to envisage new scenarios, which foresee the direct involvement of residents in

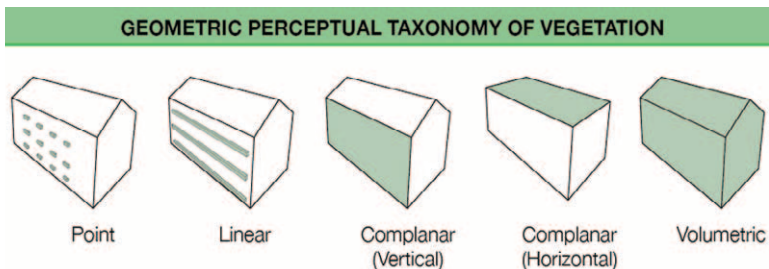
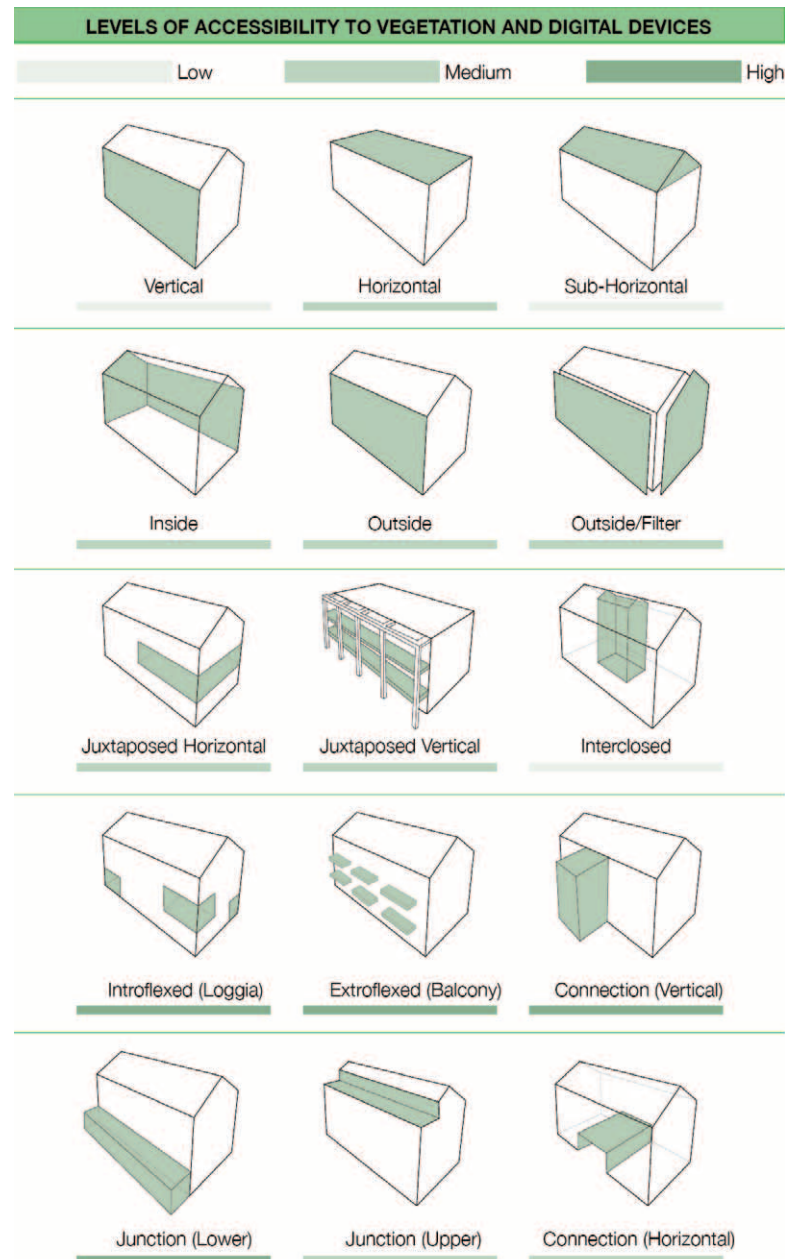


Fig. 6 | Geometric perceptual taxonomy of vegetation applied to social housing (credit: O. E. Bellini, 2022).



Fig. 7 | Easyhome Huanggang Vertical Forest City Complex in Huanggang (China) designed by Stefano Boeri Architetti, 2021 (credits: RAW VISION studio); Ciel Rouge, 131 Logements Sociaux Et Une Crèche Collective, Paris (France), 2014 (credits: Ciel Rouge); Orgues De Flandre in Paris (France) designed by Martin Van Trek, 1980 (credits: Lorenzo Zandri); Le Ray in Nice (France) designed by Maison Edouard François, 2021 (credits: Stéphane Aboudaram | We Are Contents)

Fig. 8 | Levels of accessibility to vegetation and digital devices integrated to social housing (credit: O. E. Bellini, 2022).



| STRUCTURE (UNI 8290)  |  |  |
|---|--|--|
| Classes of Technological Units  | Technological Units  | Classes of Technical Elements  |
| <b>STRUCTURE</b><br>Set of technological units and technical elements belonging to the building system with the function of supporting the loads of the building and of statically connecting its parts | <b>ELEVATION STRUCTURE</b><br>Set of the technical elements of the building with the function of supporting vertical and/or horizontal loads, transmitting them to the foundations | Vertical elevation structures<br><br>Horizontal and inclined elevation structures<br><br>Structures of spatial elevation |
|   | <b>CONTAINMENT STRUCTURE</b><br>Set of technical elements functionally connected with the building having the function of supporting the loads deriving from the ground            | Vertical retaining structures<br><br>Horizontal containment structures   |
|   |  |  |
| Portico   | Elevated Walkways  | Superstructures on the roof  |
|   |  | Outside Stairs   |
|   |  | Containment Walls  |
|   |  | Wainscot   |

**Tab. 3** | Phenomenological interpretation of the integration between greening and digital technologies: Usability related to static structure, UNI 8289:1991 (credit: O. E. Bellini, 2022).

| Closure (UNI 8290)  |   |                               |
|---|---|-------------------------------|
| Classes of Technological Units  | Technological Units   | Classes of Technical Elements |
| <b>CLOSURE</b><br>Set of technological units and technical elements of the building, with the function of separating the indoor spaces from the outside | <b>VERTICAL CLOSURE</b><br>Set of vertical technical elements of the building having the function of separating the indoor spaces of the building from the outside                      | Walls vertical perimeter      |
|   | <b>TOP CLOSURE</b><br>Set of technical horizontal or subhorizontal elements of the building having the function of separating the indoor spaces of the building from the external space | Roof                          |
|   |   |                               |
| Horizontal Roof   | Sub-Horizontal Roof   | Solar Pavement                |
|   |   | Outer Case                    |
|   |   | Case/Filter                   |
|   |   | Bioclimatic Greenhouses       |

**Tab. 4** | Phenomenological interpretation of the integration between greening and digital technologies: Usability related to perimeter closure, UNI 8289:1991 (credit: O. E. Bellini, 2022).

taking charge of and managing the urban environment, in the physical protection and ecological health of their homes as a shared living space, and the promotion of environmental biodiversity.

The proliferation of very low consumption and low-cost embedded devices enables quick automation and control even over the process of growing and maintaining vegetation. These devices can collect significant amounts of envi-

ronmental data to feed machine-learning algorithms and thus create the ideal conditions for crop growth, including edible crops. Machine vision and cloud computing also enable the analysis of thousands of images to identify variations in plant size, width, colour and curvature, while verifying the resilience of crops against any potential crop loss or threat in real-time.

The application of the IoT to domestic green spaces has resulted in the ability to track birds, monitor trees (Treemania<sup>1</sup>), count bees (Apis-Protect<sup>2</sup>) and even listen to bats (Shazam for Bats<sup>3</sup>). In these cases, it is possible to employ specific devices governed by what in the digital world is defined as a new threshold: the Internet of Nature (IoN). The IoN allows for innovative monitoring of green spaces and promotes unusual opportunities to understand the role of nature in the activities of the densely populated city from an ecological perspective (Galle, Nitoslawski and Pilla, 2019; Fig. 2). Greenery and the IoN collaborate in identifying and measuring indoor and outdoor pollutants of the domestic space; early models monitored fine particles (PM), carbon monoxide, carbon dioxide, benzene, and nitrogen compounds, in addition to ambient temperature and humidity. The first applications of air quality monitoring involved certain London suburbs (Ma et alii, 2008). These experiments have shown how pollution depends on the urban location of specific services (schools), and that the level of pollution due to vehicular traffic changes dramatically in relation to their opening hours.

Today, specific sensors reliably monitor environmental indicators, including fixed ones (Karagulian et alii, 2019), integrating information originating from official monitoring stations to provide dependable feedback on the actual environmental quality of the urban space. The process of domestic data collection and management, through the direct participation of the population, has recently witnessed a heterogeneity of approaches, mainly of a 'dynamic' type. Several projects are worth mentioning, such as Swarm-Bike (Corno et alii, 2017), which proposed to test sensors on bicycles and bike-sharing, and Ur-VAMM (Rionda et alii, 2013) and Sense Square (Lotrecchiano et alii, 2019), which explored the potential of these devices on urban transport, to contextually map multiple areas of the city.

The European Union has funded numerous experiments and research with the intent of interconnecting environmental sustainability and Smart Cities, including AirSense (Dutta et alii, 2017), CITI-SENSE (Schneider et alii, 2018) and Citi-Sense-MOB (Castell et alii, 2015). To date, none of these projects has seriously considered the opportunity and utility of integrating digital systems with vegetation directly applied to the domestic space. Concerning environmental issues, the complexity of the territory, not only as a physical space but also as an interconnected digital infrastructure, now requires a predominantly holistic approach, which contextually takes into account the plurality of reference levels, the sharing of information to acquire and the multiplicity of actors involved. For this reason, it is necessary to promote fluid connections and ever-changing relationships, which maximize the expansion of the target audience of subjects actually and potentially involved in environmental issues.

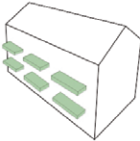

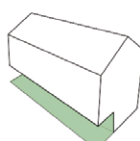
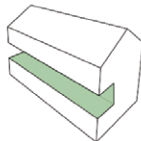
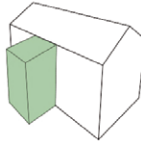
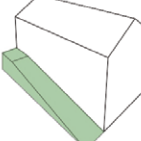
The recent pandemic has altered our relationship with technology, which is increasingly present even in the domestic environment, stimulating attention to the quality of the environment we inhabit and the repercussions on human health. For this reason, on the one hand, studies attempt to relate outdoor and indoor air quality to health problems (Jaimini et alii, 2017), but on the other hand, it is necessary to try to understand how the presence of vegetation inside and outside of housing units not only produces real benefits (Han and Ruan, 2020) but activates educational processes on these issues. Proactive community involvement remains the main challenge, especially in forms of shared living. Too often the use of domestic integration of vegetation is celebrated by designers in ‘green-shipping’ terms, bordering on greenwashing and going so far as to propose, as in the case of the Qiyi City Forest Garden (Fig. 3) in Cheengdu, China, inappropriate and mismanaged vegetation that has made dozens of dwellings uninhabitable due to the invasion of mosquitoes and other insects.

The social models adopted in the field of energy conservation – an area of reference for the activation of a new ecology of living, including through the use of vegetation (Gupta and Kap-sali, 2016; Aljer et alii, 2017) – allow us to understand how people’s living behaviour can affect the pursuit of environmental goals. These approaches move in the direction of Citizen Science, i.e., involving citizens on a scientific basis to directly verify the mechanisms of cause and effect that lead to the modification of the environment and the potential worsening of the quality of life, thus gaining awareness.

At the building level, a ‘social’ impulse could come from solutions such as those proposed by the Wiseair project<sup>4</sup> which, based on the intuition of a group of university students, patented the Arianna balcony pot: a container for plants equipped with sensors that not only detects certain atmospheric pollutants but can also serve as the basis for activating a sensitive digital community. At the urban scale, the larger entrepreneurial project Airly required the involvement of Public Administrations, promoting the use of a network of interconnected sensors to acquire environmental data and plan possible countermeasures (Bielecki and Kaźmierczak, 2018). In this project, air quality data is visualized through a web portal, whereby a series of sensors become an active part of a complex urban system creating an interconnected ‘whole’, a Smart City that addresses, in adaptive terms, the ecological challenges of the future.

The so-called Smart Urban Garden infrastructure is embedded into this context, using digital technologies in connection with vegetation to share data and information through a single platform. This IT support makes use of the Sensitive Walk Beacon, a small Bluetooth radio transmitter interconnected with specific green areas, which can be activated on a smartphone or tablet and returns content regarding the biodiversity and health status of the vegetation and its immediate surroundings. These sensors, easily applicable to the building organism, enable real-time monitoring of the effects that vegetation produces on urban air quality, track the flow of visi-

| Partition (UNI 8290)  |  |  |
|---|--|--|
| Classes of Technological Units  | Technological Units  | Classes of Technical Elements                  |
| EXTERNAL PARTITION<br><br>Set of technological units and technical elements of the building with the function of dividing and conforming the outdoor spaces connected with the building system itself | VERTICAL EXTERNAL PARTITION<br><br>Set of vertical technical elements of the building having the function of dividing and articulating the external spaces connected with the building itself  | Protection elements<br><br>Separation elements |
|   | EXTERNAL HORIZONTAL PARTITION<br><br>Set of horizontal technical elements of the building having the function of dividing and articulating the external spaces connected with the building system itself   | Balconies and loggias<br><br>Walkways          |
|   | INCLINED EXTERNAL PARTITION<br><br>Set of the technical elements of the building with a position close to the horizontal with the function of explaining the external spaces connected with the building itself, connecting spaces placed at different altitudes | External stairs<br><br>External ramps          |

**Tab. 5** | Phenomenological interpretation of the integration between greening and digital technologies: Usability related to volumetric partition, UNI 8289:1991 (credit: O. E. Bellini, 2022).

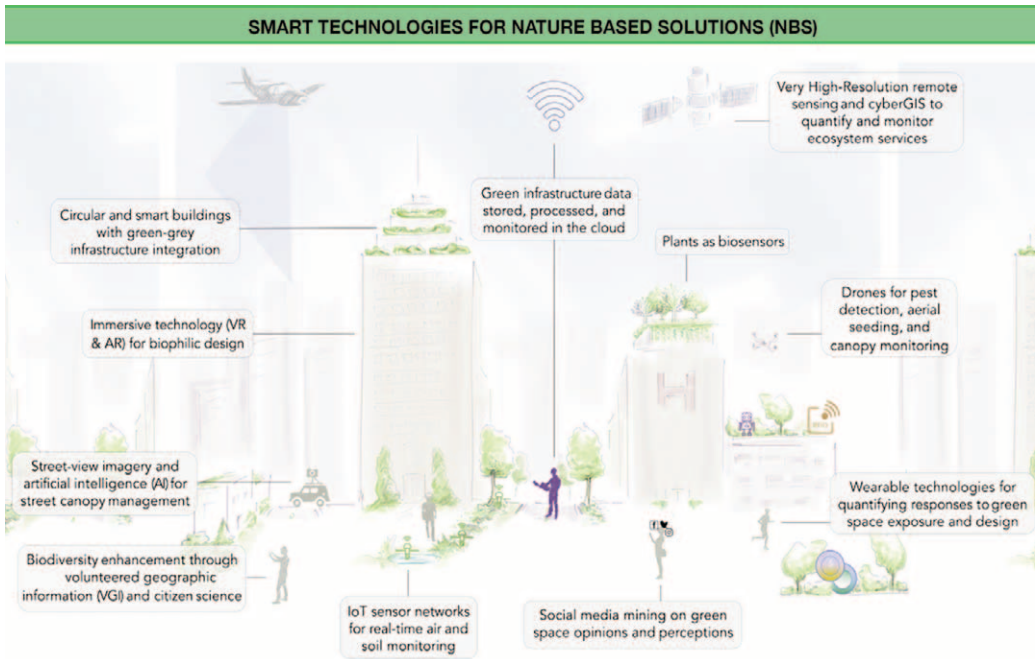
tors and control access to the distribution connectors of the residential area, facilitate cooperative and collaborative processes between those involved in the care of greenery, study the status of biodiversity, and monitor animal and plant species. This information is interpolated with atmospheric conditions, thus providing information on plant health. The collected data can also be processed, archived and reused.

Radio-frequency identification systems (RFID) have been proposed, at an urban scale and from an IoN perspective, for tree maintenance and protection (Luvisi and Lorenzini, 2014). At the same time, smart systems, integrated and connected to the Smart City infrastructure, are currently being used in Germany (Gimpel et alii, 2021). Direct citizen involvement has been promoted for automated aeroponic growing systems based on IoT devices (Kerns and Lee, 2017). On the topic of cultivation in vertical gardens, multiple implementations and experiments have been documented in Halgamuge et alii (2021). Among other things, these studies attest to how the use of digital systems is now proven and ready to engage the shared living domestic audience.

**Greening and digital sensors: configurations and usability** | The integration between vegetation and digital sensors can take place in hori-

zontal or vertical spaces and household interiors or exteriors (Tab. 2). The heterogeneity of the applications, the variation in production costs, as well as the articulated maintenance methods can be traced to two macro-systems: horizontal and vertical technological green. The former includes green roofs and overhead forests (Fig. 4), the latter green facades, green walls and vertical forests (Bartesaghi, Osmond and Peters, 2017; Fig. 5). The decoding of the figurative aspects of the application of vegetation, referring to perceptual and geometric/formal data, can be traced back to: point, line, surface and volume (Fig. 6). Greenery can be considered in relation to its actual accessibility and/or practicability, according to the spatial areas of application within the residential area (Figg. 7, 8).

A more articulated definition of the integration between IoT and vegetation is necessary, based on the classes of technological units of the building organism, concerning the requirement class of usability (Standard UNI 8289:1991). This element enables the phenomenological interpretation of the aforementioned integration, defining the level of direct management of these devices: a taxonomy that conveys the articulation of the different levels of physical and spatial accessibility of the green element, the IoT systems and the related technological unit (Tab. 3-5). In social



**Fig. 9** | Smart technologies for Nature-based Solutions managed via Internet of Nature (source: Galle, Nitoslawski and Pilla, 2019).

housing, the usability relationship of vegetation and sensor devices can be traced back to three degrees or levels of space: private (living rooms, bedrooms, private entrances, etc.), semi-private (balconies, terraces, loggias, bow windows, etc.), semi-public (vertical and horizontal connective spaces, common spaces, etc.).

A) Usability in private space – The technological green element is introduced directly by the user into the domestic space in consideration of its benefits and the fact that vegetation produces organisms that are good for our bodies in therapeutic terms. The most usual essences are ‘houseplants’ (Hessayon, 2014) and herbs that create indoor home gardens. The need to rediscover the connection with vegetation within living spaces has encouraged the development of Natural Design, an advanced tendency of Green Design, which contributes to the diffusion of the principles of sustainability with objects and furniture that integrate vegetation (Corrado, Ferrari and Crea, 2013). The most conspicuous manifestations are eco-walls or living walls, modular wall panels, which can be used to create green surfaces or vertical gardens in interiors. These systems enrich the spatial, environmental and biological figuration of confined living spaces, generating unusual green landscapes (Blanc, 2005); if integrated with sensors, they can directly monitor the conditions of environmental well-being and comfort of the private space.

B) Usability in semi-private space – The recent pandemic has highlighted how shared living often lacks adequate elevated open spaces as substitutes for private gardens. The most evident manifestations of this type of space are balconies, loggias and patios. These areas mark the transition between outdoor and indoor (and vice versa): the moment where the space is combined with the demands of urban living (Kuntscher and Wietzorrek, 2010), defining the ideal situation to promote integration between vegetation and digital technologies, in an intimate and direct

relationship between domestic interior, outdoor vegetation and urban environment. These spaces (often considered additional, superfluous places and devoid of utility) have once again become essential areas for living well-being.

C) Usability in semi-public space – The semi-public dimension is the one that most characterizes social housing and the shared dimension of living, identified in the galleries, distribution corridors, landings, stairs, etc., places that link and interconnect the domestic and collective dimensions. Semi-public spaces, in addition to their distributive function, define the places of relationships between the individual and the neighbouring group, enhancing opportunities for gathering, sharing, comparison and cooperation. The greening of these spaces, in addition to redeeming their anonymous appearance and service function, transforms them into connotated and denoted places; agreeable and pleasant areas which must be cared for collectively in terms of management and maintenance, as they promote social relations, a sense of community and belonging.

**Conclusions** | The integration of sensors with vegetation can help delineate the contours of a new dimension of architectural design for shared living, as a field of multiple and interacting connections, to critically resolve the dichotomy between natural and artificial. Communal living certainly represents a promising context for experimentation, where technology-based systems for greening can play an important ecological role, also in terms of educational involvement of users, to promote awareness and integration of the role of biological cycles similarly to natural ecosystems, thus rendering them more efficient and sustainable.

Digital technologies are modifying our understanding of reality and lifestyles in increasingly pervasive ways, generating unusual cognitive and interpretative approaches. Our habitat,

thanks to its extraordinary wealth of information, requires increasingly less material support and is becoming less and less analogue. IoN systems offer unprecedented and countless opportunities for experimentation, to plan innovative strategies and solutions that provide concrete answers to the growing complexity of an architecture strongly conditioned by unprecedented ecological crises and threats.

The digital world has the power to promote an epistemological turning point, marking the transition from a manipulative knowledge of reality, based on deterministic and reductionist logic, to a ‘complex knowledge’ (Morin, 1993). A dimension in which the development of relationships between knowledge, disciplines, users and actors, even those belonging to different worlds, becomes strategic to understand basic generative phenomena, not only to grasp their complexity but also to transfer their logic into processes that can systemically and adaptively relate to the environment in which they are located.

Integrating the green world with the digital world also prefigures a ‘scalar shift’ of the multiple disciplines that pertain to architectural design, as components of a unified system called upon to provide answers not only to human beings but also to other living forms, in a relationship of deep knowledge and understanding of their respective needs and directions. The relationship between the different components of the living ecosystem becomes crucial when we adopt a broader and more systemic vision, supported by a holistic and participatory approach. In this case, digital technology promotes a ‘cyber ecology’ based on a ‘double convergence’, which makes it possible to interpret natural and artificial worlds as a whole (Ratti and Belleri, 2020).

Many of our cities are becoming increasingly digital: from self-driving cars to smart grids to responsive traffic signals; true Smart Cities that put data and digital technology at the centre, promoting efficiency and improving people’s quality of life. Online nature is certainly the next step in the management process of evolved ecosystems and will change the way we relate to the natural world within the urban space. The introduction of IoT systems can help bridge the gap between greener, smarter cities and the management of urban ecosystems. Taking advantage of the IoN means promoting self-sufficiency and resilience in the management of these ecosystems, to improve the connections between urban, social, and ecological dimensions (Fig. 9).

The integration between natural and digital preordains a cultural and ideological advancement in the control and management of information related to the environment according to a new perspective: the Smart Nature City. A new ecology that, especially in the younger generations, encourages sensitivity and environmentally virtuous models of living, starting from the definition of innovative ways to come together, socialize, share and meet. An interaction that potentially supports possible new domestic micro-economies and encourages the involvement of users in the care and maintenance of the semi-public areas of the residence, supporting forms of social integration, intergenerational and multi-ethnic exchanges and moments of cultural and

civic growth. Green living generates and promotes virtuous processes of participation, identification and sense of belonging, moments that activate awareness of ecological issues from the

perspective of Citizen Science, encouraging an approach to the home also in terms of sharing economy. Housing thus becomes a durable resource, more instrumental than symbolic, whose

effect is to lead the younger generations to be more interested in the ecological use of property rather than in its ownership.

## Notes

- 1) For more information, see the webpage: [treemania.eu/](http://treemania.eu/) [Accessed 20 March 2022].
- 2) For more information, see the webpage: [apisproject.com/](http://apisproject.com/) [Accessed 20 March 2022].
- 3) For more information, see the webpage: [naturesmartcities.com/](http://naturesmartcities.com/) [Accessed 20 March 2022].
- 4) For more information, see the webpage: [wiseair.vision/](http://wiseair.vision/) [Accessed 20 March 2022].

## References

- Aljer, A., Loriot, M., Shahrou, I. and Benyahya, A. (2017), “Smart system for social housing monitoring”, in *2017 Sensors Networks Smart and Emerging Technologies (SENSET)*, IEEE, pp. 1-4. [Online] Available at: [doi.org/10.1109/SENSET.2017.8125057](https://doi.org/10.1109/SENSET.2017.8125057) [Accessed 20 March 2022].
- Bartesaghi Koc, C., Osmond, P. and Peters, A. (2017), “Towards a comprehensive green infrastructure typology – A systematic review of approaches, methods and typologies”, in *Urban Ecosystems*, vol. 20, issue 1, pp. 15-35. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/s11252-016-0578-5](https://doi.org/10.1007/s11252-016-0578-5) [Accessed 20 March 2022].
- Bellini, O. E. and Daglio, L. (2015), *Il verde tecnologico nell'housing sociale*, FrancoAngeli, Milano.
- Bielecki, R. and Kaźmierczak, M. (2018), “Evaluation of air quality in the Miechów district, Poland”, in *World Scientific News*, vol. 110, pp. 219-226. [Online] Available at: [bibliotekanauki.pl/api/full-texts/2021/6/23/ddfa41ec-6470-4e44-a898-e5e4fdde50dd.pdf](https://bibliotekanauki.pl/api/full-texts/2021/6/23/ddfa41ec-6470-4e44-a898-e5e4fdde50dd.pdf) [Accessed 20 March 2022].
- Blanc, P. (2005), *Le bonheur d'être plante*, Libella-Maren Sell Édition, Paris.
- Castell, N., Kobernus, M., Liu, H.-Y., Schneider, P., Lahoz, W., Berre, A. J. and Noll, J. (2015), “Mobile technologies and services for environmental monitoring – The Citi-Sense-MOB approach”, in *Urban Climate*, vol. 14, part 3, pp. 370-382. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.uclim.2014.08.002](https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.08.002) [Accessed 20 March 2022].
- Corno, F., Montanaro, T., Migliore, C. and Castrogiovanni, P. (2017), “SmartBike – An IoT Crowd Sensing Platform for Monitoring City Air Pollution”, in *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 7, n. 6, pp. 3602-3612. [Online] Available at: [doi.org/10.11591/ijece.v7i6.pp3602-3612](https://doi.org/10.11591/ijece.v7i6.pp3602-3612) [Accessed 20 March 2022].
- Corrado, M., Ferrari, M. and Crea, N. (2013), *Natural Design*, Wolters Kluwer, Italia.
- Dutta, J., Chowdhury, C., Roy, S., Middy, A. I. and Gazi, F. (2017), “Towards Smart City – Sensing Air Quality in City based on Opportunistic Crowd-sensing”, in *Proceedings of the 18th International Conference on Distributed Computing and Networking – ICDCN '17, New York, USA*, article 42, pp. 1-6. [Online] Available at: [doi.org/10.1145/3007748.3018286](https://doi.org/10.1145/3007748.3018286) [Accessed 20 March 2022].
- Galle, N. J., Nitoslawski S. A. and Pilla, F. (2019), “The Internet of Nature – How taking nature online can shape urban ecosystems”, in *The Anthropocene Review*, vol. 6, issue 3, pp. 279-287. [Online] Available at: [doi.org/10.1177/2053019619877103](https://doi.org/10.1177/2053019619877103) [Accessed 20 March 2022].
- Gimpel, H., Graf-Drasch, V., Hawlitschek, F. and Neumeier, K. (2021), “Designing smart and sustainable irrigation – A case study”, in *Journal of Cleaner Production*, vol. 315, article 128048, pp. 1-20. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128048](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128048) [Accessed 20 March 2022].
- Gupta, R. and Kapsali, M. (2016), “Empirical assessment of indoor air quality and overheating in low-carbon social housing dwellings in England, UK”, in *Advances in Building Energy Research*, vol. 10, issue 1, pp. 46-68. [Online] Available at: [doi.org/10.1080/17512549.2015.1014843](https://doi.org/10.1080/17512549.2015.1014843) [Accessed 20 March 2022].
- Halgamuge, M. N., Bojovschi, A., Fisher, P. M., Le, T. C., Adeloju, S. and Murphy, S. (2021), “Internet of Things and autonomous control for vertical cultivation walls towards smart food growing – A review”, in *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 61, article 127094, pp. 1-17. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127094](https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127094) [Accessed 20 March 2022].
- Han, K.-T. and Ruan, L.-W. (2020), “Effects of indoor plants on air quality – A systematic review”, in *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 27, issue 14, pp. 16019-16051. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/s11356-020-08174-9](https://doi.org/10.1007/s11356-020-08174-9) [Accessed 20 March 2022].
- Hessayon, D. G. (2014), *Il manuale delle piante d'appartamento*, Vallardi, Milano.
- Jaimini, U., Banerjee, T., Romine, W., Thirunarayan, K., Sheth, A. and Kalra, M. (2017), “Investigation of an Indoor Air Quality Sensor for Asthma Management in Children”, in *IEEE Sensors Letters*, vol. 1, issue 2, article 6000204, pp. 1-4. [Online] Available at: [doi.org/10.1109/LSENS.2017.2691677](https://doi.org/10.1109/LSENS.2017.2691677) [Accessed 20 March 2022].
- Karagulian, F., Barbiere, M., Kotsev, A., Spinelle, L., Gerboles, M., Lagler, F., Redon, N., Crunaire, S. and Borowiak, A. (2019), “Review of the Performance of Low-Cost Sensors for Air Quality Monitoring”, in *Atmosphere*, vol. 10, issue 9, article 506, pp. 1-41. [Online] Available at: [doi.org/10.3390/atmos10090506](https://doi.org/10.3390/atmos10090506) [Accessed 20 March 2022].
- Kerns, S. C. and Lee, J.-L. (2017), “Automated aeroponics system using IoT for smart farming”, in *8th International Scientific Forum, ISF 2017, 7-8 September 2017, UNCP, USA*, pp. 104-110. [Online] Available at: [doi.org/10.19044/esj.2017.c1p10](https://doi.org/10.19044/esj.2017.c1p10) [Accessed 20 March 2022].
- Kuntscher, M. and Wietzorrek, U. (2010), “Inhabiting nature – On the Value of Exterior Spaces in Multistory Apartment Building”, in Ebner, P., Herrmann, E., Röllbacher, R., Kuntscher, M. and Wietzorrek, U. (eds), *Typology+ – Innovative Residential Architecture*, Birkhäuser, Basel.
- Lotrecchiano, N., Sofia, D., Giuliano, A., Barletta, D. and Poletto, M. (2019), “Real-time On-road Monitoring Network of Air Quality”, in *Chemical Engineering Transactions*, vol. 74, pp. 241-246. [Online] Available at: [doi.org/10.3303/CET1974041](https://doi.org/10.3303/CET1974041) [Accessed 20 March 2022].
- Luvisi, A. and Lorenzini, G. (2014), “RFID-plants in the smart city – Applications and outlook for urban green management”, in *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 13, issue 4, pp. 630-637. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.ufug.2014.07.003](https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.07.003) [Accessed 20 March 2022].
- Ma, Y., Richards, M., Ghanem, M., Guo, Y. and Hasard, J. (2008), “Air Pollution Monitoring and Mining Based on Sensor Grid in London”, in *Sensors*, vol. 8, issue 6, pp. 3601-3623. [Online] Available at: [doi.org/10.3390/s8063601](https://doi.org/10.3390/s8063601) [Accessed 20 March 2022].
- Morin, E. (1993), *Introduzione al pensiero complesso – Gli strumenti per affrontare la sfida della complessità*, Sperling & Kupfer, Milano.
- Perini, K. (2012), “L'integrazione di vegetazione in architettura – Metodi e strumenti innovativi | The integra-
- tion of vegetation in architecture – Innovative methods and tools”, in *Il Progetto Sostenibile*, vol. 31, p. 91.
- 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](https://doi.org/10.19229/2464-9309/812020) [Accessed 20 March 2022].
- Rionda, A., Marin, I., Martinez, D., Aparicio, F., Alija, A., Garcia Allende, A., Miñambres, M. and Pañeda, X. G. (2013), “UrVAMM – A full service for environmental-urban and driving monitoring of professional fleets”, in *International Conference on New Concepts in Smart Cities | Fostering Public and Private Alliances (SmartMILE)*, pp. 1-6. [Online] Available at: [doi.org/10.1109/SmartMILE.2013.6708173](https://doi.org/10.1109/SmartMILE.2013.6708173) [Accessed 20 March 2022].
- Roger, A. (2002), “Verdolatria”, in *Lotus Navigator*, n. 5, p. 99.
- Schneider, P., Castell, N., Dauge, F. R., Vogt, M., Lahoz, W. A. and Bartonova, A. (2018), “A network of Low-Cost Air Quality Sensors and Its Use for Mapping Urban Air Quality”, in Bordogna, G. and Carrara, P. (eds), *Mobile Information Systems Leveraging Volunteered Geographic Information for Earth Observation*, Springer, Cham, pp. 93-110. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/978-3-319-70878-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-70878-2_5) [Accessed 20 March 2022].
- Tsurumi, T., Imauji, A. and Managi, S. (2018), “Greenery and Subjective Well-being – Assessing the Monetary Value of Greenery by Type”, in *Ecological Economics*, vol. 148, pp. 152-169. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.02.014](https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.02.014) [Accessed 20 March 2022].



## LA PROTOTIPAZIONE PEDAGOGICA DI EDIFICI ECOLOGICI AVANZATI E BIOCITTÀ PRESSO I VALLDAURA LABS

### ON PEDAGOGICAL PROTOTYPING OF ADVANCED ECOLOGICAL BUILDINGS AND BIOCITIES AT VALLDAURA LABS

Daniel Ibañez, Vicente Guallart, Michael Salka

#### ABSTRACT

Le nuove generazioni di designer hanno grande responsabilità ma anche l'opportunità di mettere in campo azioni di mitigazione e adattamento al cambiamento climatico globale, all'inquinamento ambientale, alla perdita di biodiversità e all'esaurimento delle risorse non rinnovabili. Il contributo illustra come l'Institute for Advanced Architecture of Catalonia – Valldaura Labs (VL) fornisca ai futuri professionisti gli strumenti interdisciplinari per realizzare una simbiosi tra il mondo costruito e quello naturale, attraverso un sistema formativo che impiega la prototipazione e 'l'apprendere vivendo'. VL è un living lab situato nel Parco Naturale di Collserola, a 10 km dal centro di Barcellona, il cui Master in Advanced Ecological Buildings & Biocities (MAEBB) si conclude annualmente con la progettazione e realizzazione di un edificio autosufficiente. La metodologia didattica e i progetti realizzati al VL si possono annoverare tra le migliori pratiche di riferimento per realizzare paesaggi ecologici e tecnologici olisticamente integrati.

Emerging designers and makers of the built environment have an outstanding responsibility and potential to mitigate and adapt to global climate change, environmental pollution, biodiversity loss, and resource depletion. This paper overviews how the Institute for Advanced Architecture of Catalonia – Valldaura Labs (VL) educates incipient practitioners in interdisciplinary strategies for unifying the constructed and natural worlds through pedagogical prototyping and learning by living. VL is a living lab sited 10 km from Barcelona's centre in the Collserola Natural Park, hosting the immersive Master in Advanced Ecological Buildings & Biocities (MAEBB), which culminates in the annual autonomous design and fabrication of a self-sufficient building. The methods and projects of VL provide best practices of reference for realising holistically integrated ecological and technological landscapes.

#### KEYWORDS

formazione e prototipazione, living labs, didattica immersiva, soluzioni basate sulla natura, bioeconomia circolare

pedagogical prototyping, living labs, immersive education, nature-based solutions, circular bioeconomy

**Daniel Ibañez**, Architect and Urbanist, is the Director of the Institute for Advanced Architecture of Catalonia (IAAC) where he is the co-Director of the Master in Advanced Ecological Buildings and Biocities and Director of the Master of Mass Timber Design at IAAC Barcelona (Spain). Since 2017, he is a Senior Urban Consultant at the World Bank advising international governments and institutions on timber housing and timber urban development. E-mail: dani@iaac.net

**Vicente Guallart**, Architect, Urbanist and Chief Architect of the Barcelona City Council from 2011 to 2015, is the co-Director of the Master in Advanced Ecological Buildings and Biocities at IAAC Barcelona (Spain) and Co-Founder of IAAC. He also directs a professional office, Guallart Architects. E-mail: vicenteguallart@gmail.com

**Michael Salka**, Architect and Urbanist, is a Gates Cambridge PhD Candidate at the University of Cambridge and Technical Director of Valldaura Labs at IAAC Barcelona (Spain) from 2019 to 2021. His research activity is focused on the use of big data and digital technologies in the field of environmental sustainability. E-mail: ms2508@cam.ac.uk

Nel 2020 la produzione materiale complessiva delle attività umane (antropomassa) ha superato per la prima volta i 1.100 miliardi di tonnellate di biomassa planetaria (Bar-On, Phillips and Milo, 2018; Elhacham et alii, 2020; Erb et alii, 2018). Le pressioni derivanti dal cambiamento climatico globale, dall'inquinamento ambientale, dalla perdita di biodiversità e dall'esaurimento delle risorse naturali (Smil, 2012; Zalasiewicz et alii, 2019), in combinazione con la necessità di aumentare l'antropomassa per soddisfare la crescita continua e l'urbanesimo (ONU, 2019), comportano una grande responsabilità di soggetti e imprese impegnati nella produzione di materiali antropogenici per guidare i cambiamenti radicali necessari alle trasformazioni verso un Antropocene 'buono' (McPhearson et alii, 2021). Designer e progettisti possono fornire uno straordinario contributo poiché gli edifici rappresentano, considerando sia la produzione dei materiali sia i processi di costruzione<sup>1</sup> la maggiore fonte di emissioni globali di CO<sub>2</sub> equivalente (40%); ma come possono decidere in modo intelligente quali materiali e sistemi di costruzione prediligere? Il presente contributo illustra il metodo didattico del Valldaura Labs (VL) dell'Institute for Advanced Architecture of Catalonia (IAAC) fondato sulla prototipazione e sul 'learnig by living' per guidare gli studenti nell'individuare risposte innovative alle suddette emergenze.

Il VL è un laboratorio 'vivente' unico e innovativo (Niitamo et alii, 2006), a soli 10 km dal centro di Barcellona, circondato dal Parco Naturale di Collserola che si estende per 1.300 ettari; situato in una casa colonica del XIX secolo (massia) ristrutturata per ospitare laboratori di fabbricazione digitale e falegnameria ma anche alloggi e spazi per la didattica, VL ospita Master immersivo in Advanced Ecological Buildings & Biocities (MAEBB). Dal 2018 ad oggi circa 75 studenti provenienti da tutto il mondo hanno vissuto e studiato nella tenuta rurale, sviluppando strategie e approcci per ridurre il divario tra antropomassa e biomassa, progredendo così verso un paesaggio 'unificato' (Ratti and Belleri, 2020; Simon, 1996). Il MAEBB si conclude ogni anno con l'ideazione e la costruzione di un edificio prototipo autosufficiente che impiega il più possibile mezzi, materiali e flussi circolari locali e basati sulla natura (Guallart, 2014).

VL espleta questo servizio utilizzando anche i 135 ettari di foresta che fanno parte della tenuta all'interno del metabolismo<sup>2</sup> del Green Fab Lab, con progettazione manuale e informatizzata e con l'impiego di materie prime naturali attraverso una Gestione Sostenibile della Foresta (GSF). VL forma così le nuove generazioni di professionisti dell'ambiente costruito attraverso la realizzazione di progetti bioclimatici a zero emissioni di carbonio, che migliorano la salute e il benessere umano e la resilienza degli ecosistemi da cui provengono i materiali e in cui sono collocate le architetture (Ibañez, Hutton and Moe, 2019).

Sulla base di queste premesse e di una revisione dello stato dell'arte, che rivela l'innovativo allineamento di VL a tematiche di interesse scientifico e culturale come le Nature-based Solutions (NbS), la bioeconomia circolare e il Nuovo Bauhaus Europeo (European Commission, 2021), il contributo presenta la natura catalizzatrice di transizioni di VL, il background dell'approccio 'impara-

re facendo', le modalità di apprendimento attraverso il living lab e i prototipi con cui VL qualifica le migliori pratiche che integrano aspetti ecologici e tecnologici. Si presentano poi le conclusioni con barriere, limiti, sviluppi futuri e possibili nuove linee di ricerca.

**Revisione della letteratura** | Per comprendere quanto VL sia all'avanguardia è stato utile condurre una revisione sistematica e bibliometrica della letteratura esistente in Scopus adottando il metodo degli studi precedenti rilevanti (Choi, Berry and Smith, 2021; Darko et alii, 2020; Manzoor, Othman and Pomares, 2021; Pineda-Pinto, Frantzeskaki and Nygaard, 2021; Yin et alii, 2019). La ricerca è stata fatta per titolo/abstract/parola chiave all'interno di articoli di riviste, contributi per conferenze e capitoli di libri con la query 'ecology AND architecture AND education'; 'ecology' è stato scelto come termine di ricerca prioritario in quanto riguarda le relazioni degli organismi con l'ambiente fisico da una prospettiva biologica; 'architecture' per il suo riferimento all'arte e alla scienza della progettazione e della costruzione; 'education' come termine ombrello che copre curricula formali, nonché corsi di formazione, tutoraggi, ecc. Sono stati selezionati 199 risultati utilizzando il protocollo PRISMA (Page et alii, 2021) e tra questi 81 contributi full-text di cui 34 sono stati recuperati con successo (Fig. 1). Un limite della ricerca è l'aver circoscritto l'indagine ai soli documenti pubblicati in lingua inglese; inoltre una riformulazione della query con termini di ricerca alternativi, come 'cambiamento climatico', avrebbe potuto ampliare la quantità dei testi da analizzare.

Le date di pubblicazione degli 81 record indicano che il binomio ecologia-architettura in didattica è esploso a partire dal 1976 fino agli anni di picco rappresentati dal 2015, 2016, 2018 e 2021 (7-8 record ciascuno; Fig. 2). Il tasso di pubblicazione è aumentato bruscamente dal 2012 (2 record) al 2013 (6 record), crescita attribuibile in parte alla promozione delle NbS da parte della Commissione Europea a partire dal 2013, e ai bandi del 2016 e 2017 per progetti che impiegavano NbS su larga scala (Faire et alii, 2017). Alla data di redazione del presente contributo non è ancora possibile determinare il numero di pubblicazioni per il 2022.

Successivamente, tramite analisi bibliometriche consolidate nel settore dell'architettura, dell'ingegneria e delle costruzioni, è stato utilizzato VOSviewer per individuare tendenze e riferimenti sul tema (van Eck and Waltman, 2010; Manzoor, Othman and Pomares, 2021; Babalola et alii, 2021; Vilutiene et alii, 2019; Liu, Lu and Peh, 2019; Santos, Costa and Grilo, 2017). Il risultato ottenuto da VOSviewer è una mappa nella quale spazialità, raggruppamento, colore e collegamenti dei nodi sono scalati in base all'intensità delle connessioni tra parole chiave (van Eck and Waltman, 2010; Fig. 3).

Oltre alla relativa prevalenza di parole chiave e delle loro relazioni, la mappa rivela importanti lacune dei 34 full text acquisiti, ovvero l'assenza di recenti temi interdisciplinari rilevanti quali ad esempio le NbS e la bioeconomia circolare (Escobedo et alii, 2019; Palahí et alii, 2020), il che evidenzia il contributo originale di VL nella formazione ecologica dei giovani progettisti su temi rite-

nuti dalla comunità scientifica importanti per garantire cambiamenti sistemici e sostenibilità dell'intervento. VL allinea così le proprie attività con la missione del New European Bauhaus, il cui fine è dar seguito all'European Green Deal (European Commission, 2019) nei nostri spazi abitativi e nelle nostre esperienze.

**Valldaura Labs come catalizzatore di transizioni** | VL è una struttura dell'IAAC, un'organizzazione privata senza scopo di lucro per la formazione professionale, la divulgazione, la ricerca, lo sviluppo e l'innovazione, il cui campus principale si trova nel distretto di innovazione urbana 22@ di Barcellona (22@Network, s.d.). La missione di IAAC consiste nell'immaginare il futuro habitat della nostra società e costruirlo nel presente mediante gli strumenti della rivoluzione digitale ad ogni livello (dai bit alla geografia, dai microcontrollori alle città, dai materiali al territorio) per espandere i confini dell'architettura e del design e affrontare le sfide dell'umanità, anche attraverso la filosofia del 'learning by doing'<sup>3</sup>. VL interpreta le potenzialità del design e della costruzione digitale secondo un ethos ecologico influenzato dalla emergenza climatica, dalla presenza del Collserola Natural Park e dalle teorie dei co-direttori Vicente Guallart e Daniel Ibañez, 'the self-sufficient city' e 'wood urbanism' (Guallart, 2014; Ibañez, Hutton and Moe, 2019).

In sintesi, la teoria de 'the self-sufficient city' postula che le tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT) debbano essere alla base di una rivoluzione urbana radicale, passando da una produzione e fornitura lineare, centralizzata, dall'alto verso il basso e gerarchicamente rigida, di energia, beni, risorse e servizi a una rete circolare, decentralizzata, distribuita, dal basso verso l'alto e dinamicamente reattiva (Guallart, 2014). Essa promuove una città in cui ogni edificio o isolato risulta in grado di raggiungere un certo grado di autosufficienza attraverso tecnologie localizzate di generazione e stoccaggio dell'energia (impianti fotovoltaici con batterie di accumulo), sistemi di raccolta, trattamento e riciclaggio dell'acqua (regimentazione dell'acqua piovana, irrigazione della vegetazione e infrastrutture per le acque grigie), strutture per trasformare i 'rifiuti' in beni (impianti di biogas o compostaggio), strutture per trasformare in modo sostenibile le materie prime in oggetti utili e per ripararli o modificarli (stampanti 3D, taglieri laser, fresatrici CNC, ecc.) e impianti per la coltivazione di cibo (serre sul tetto), il tutto gestito collettivamente da un Internet delle Cose (IoT) attraverso sensori, attivatori, sistemi informatici e interfacce di facile uso. Inoltre, promuove la messa in rete di edifici o isolati interconnessi con gli omologhi di prossimità (Fig. 4) per creare una infrastruttura urbana resiliente attraverso una interconnessione multilivello e flessibile (Guallart, 2014).

Il 'wood urbanism' (Fig. 5) individua il legno, e in particolare quello ingegnerizzato, come materiale primario per gli edifici e le città dell'immediato futuro, in virtù delle sue eccezionali proprietà strutturali, termiche, fisiologiche ed esperienziali, delle caratteristiche affini ai principi della bioeconomia circolare grazie alla sua leggerezza, lavorabilità e biodegradabilità e delle sue ineguagliabili potenzialità per mitigare l'attua-

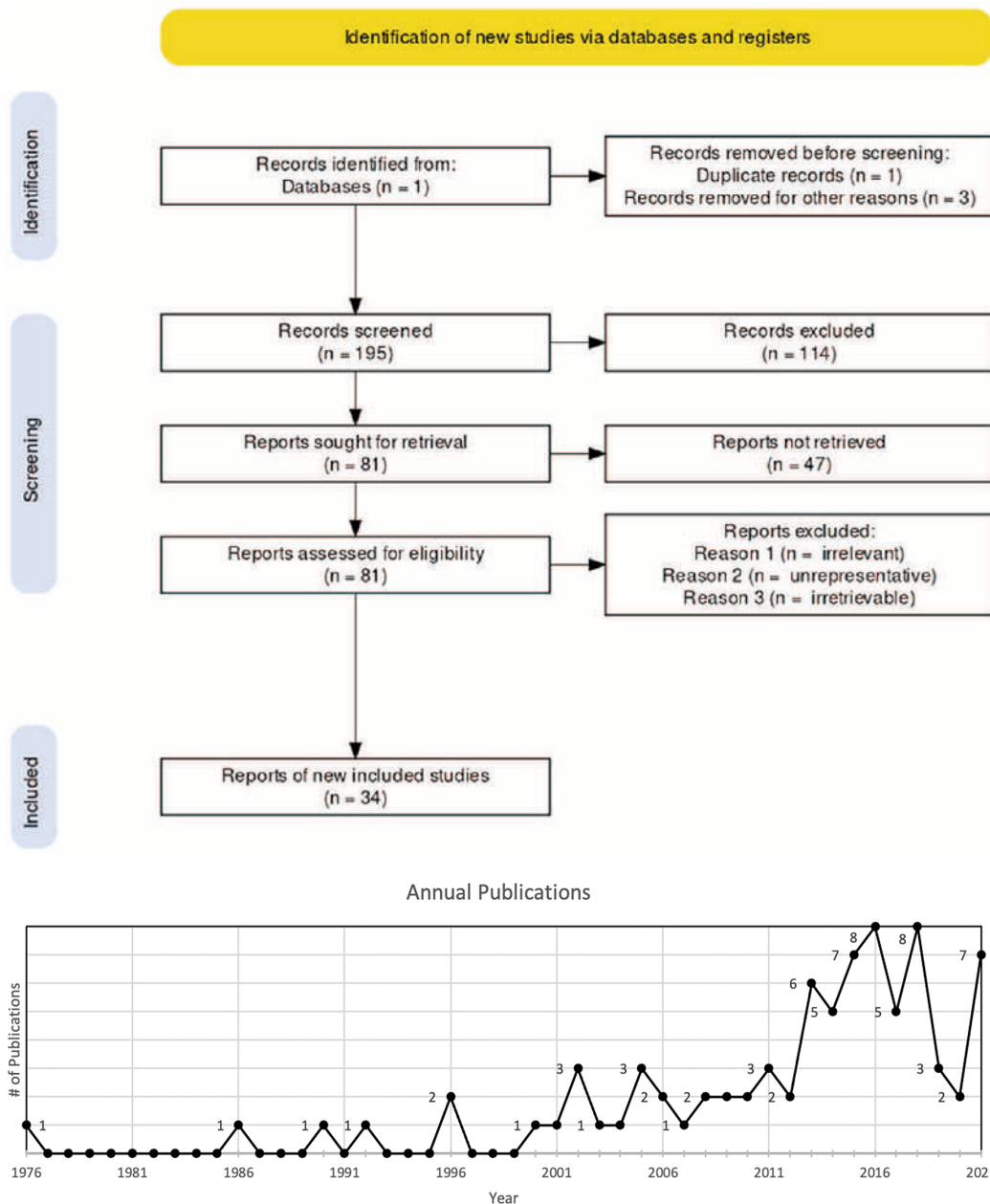


Fig. 1 | PRISMA Flow Diagram created with the R Package and ShinyApp (credit: M. Salka, 2022; source: Haddaway, McGuinness and Pritchard, 2021).

Fig. 2 | Annual publications of records concerning ecology, architecture and education (credit: M. Salka, 2022).

le emergenza ambientale, climatica e della biodiversità sequestrando il carbonio, valorizzando le foreste e sostenendo i Servizi Ecosistemici ove abbinati a pratiche di GSF. Il 'wood urbanism' riconosce anche che, a fronte di continui miglioramenti nell'efficienza operativa degli edifici, gli impatti 'integrati' dei materiali e dei loro processi di produzione e costruzione rappresentano temi sempre più dominanti per la ricerca futura (Ibañez, Hutton and Moe, 2019).

VL fa propri quindi i concetti formulati dalle teorie de 'the self-sufficient city' e del 'wood urbanism' attraverso un metabolismo circolare (Fig. 6), un ecosistema generativo di cicli chiusi a km zero che prevede la produzione regionale o locale di energia, beni, risorse e servizi attraverso le Nature-based Value Chains (NbVCs), catene corte di valore basate sulla natura che forniscono beni rinnovabili e biologici (per esempio, cibo, legname e altri prodotti forestali non legnosi), oltre a beni inorganici comunque basati sulla natura

(per esempio, elettricità dalla luce solare, acqua, terra, argilla, ecc.). Il principio del km zero è applicato anche ai processi morfologici che determinano le forme architettoniche e urbane attraverso adattamenti eliomorfi del luogo, governando gli apporti del sole, dei venti e dell'umidità dell'aria<sup>4</sup> (Bruno, Arcuri and Carpino, 2015; Mastouri et alii, 2017). Grazie a una avanzata progettazione e fabbricazione digitale e alla rete ICT, così come alla prefabbricazione, alla modularità, al DfM – Design for Manufacture e al DfD – Design for Disassembly (Esmaeilian, Behdad and Wang, 2016), l'obiettivo di VL è mettere a sistema questi metabolismi circolari a km zero basati sulla natura per passare da una logica di globalizzazione, di estrazione delle materie prime e di impiego di combustibili fossili a un paradigma di rinnovabilità e sostenibilità regionale e locale.

**Learning by Making** | La IAAC adotta il metodo del 'learning by doing' in tutti i suoi curricula; per

i professionisti che operano nei settori dell'architettura e dell'urbanistica, il 'learning by doing' è declinato con il 'learning by making', ossia imparare creando, fabbricando, assemblando e implementando i diversi elementi dell'ambiente costruito, e VL si ispira a modelli pedagogici storici innovativi per unire pratica e orientamenti ecologici.

Il primo modello storico è il Taliesin Fellowship, fondato nel 1932 e ribattezzato The School of Architecture at Taliesin (TSOA) nel 2017. Nel Taliesin Fellowship gli allievi lavoravano fianco a fianco con Frank Lloyd Wright su progetti iconici come la Fallingwater (1936-1939) e il Guggenheim Museum (1956-1959), contemporaneamente immergendosi nell'approccio 'organico' di Wright al design e nei paesaggi drammatici di Taliesin e Taliesin West (Fig. 7). Gli allievi non solo lavoravano e studiavano in questi luoghi, ma vivevano anche sul posto in rifugi di loro progettazione coltivando la terra (Gibson, 2020). Così come proposto per 'the self-sufficient city', l'obiettivo di Wright era di rendere gli studenti stessi responsabili, per quanto possibile, del loro mantenimento e della loro cura, assegnando loro la manutenzione dei giardini, il lavoro nei campi e l'allevamento di animali ma anche attività quotidiane quali fare il bucato, cucinare e pulire, secondo una suddivisione equilibrata dei compiti<sup>5</sup>. Oltre a ispirare l'eccellenza architettonica, Wright riteneva che una immersione completa in questo metodo didattico potesse formare esseri umani con buone capacità di relazione, creativi e con ampi orizzonti (Gibson, 2020). Dopo aver formato più di 1.200 professionisti in 88 anni di attività a Taliesin e Taliesin West, la TSOA decise di trasferirsi nei vicini edifici Arcosanti e Cosanti di Paolo Soleri (1956-1970)<sup>6</sup>; quest'ultimo, simile a Wright sotto molti aspetti, è un'altra fonte d'ispirazione per VL avendo coniato il neologismo sincratico 'arcology' dall'unione di 'architecture' ed 'ecology' (Grierson, 2016; Pacheco, 2020).

Una più recente fonte di ispirazione è rappresentata dallo Hooke Park dell'Architectural Association (AA, s.d.; Fig. 8), particolarmente rilevante per VL, vista la comune applicazione di strumenti digitali avanzati al design ecologico. Fondato negli anni '80 come contraltare alla sede metropolitana dell'AA a Londra, Hooke Park ospita un programma Design and Make della durata di 12 o 16 mesi, oltre a brevi residential workshop sul tema della progettazione del paesaggio, mettendo a disposizione strutture e attrezzature per la fabbricazione e l'assemblaggio dei manufatti e alloggi per i partecipanti all'interno di un bosco secolare della Dorset Area of Outstanding Natural Beauty.

VL si ispira anche a una serie di iniziative prototipiche di design, fabbricazione e costruzione nell'ambito del mandato dell'IAAC e tra queste la Fab Lab House (2010), l'Endesa Pavilion (2011) e l'Endesa World Fab Condenser (2014), che promuovono sistemi costruttivi in legno ecologicamente ed energeticamente reattivi, co-creati, progettati e fabbricati digitalmente<sup>7</sup>. Il punto in comune tra i pionieri del metodo e VL è la necessità primaria di 'rimaterializzare' la formazione in ambito architettonico e urbanistico, superando la visione secondo la quale architetti e designer sono soggetto decisionale estranei all'atto del fare.

**Valldaura come Living Lab** | Come avvenuto a Taliesin, VL promuove il metodo del 'learning by doing', coinvolgendo studenti, ricercatori e volontari in un'esperienza unica di 'learning by living'. Per reintegrare creativamente gli ambienti naturali con quelli costruiti, i professionisti sono indirizzati a comprendere l'essenza degli ambienti naturali che ospitano le loro costruzioni: vivendo, lavorando e studiando materie come la biologia, l'ecologia e l'agricoltura in aggiunta a quelle più convenzionali sull'architettura, presso VL e durante un intero anno solare gli studenti acquisiscono una profonda conoscenza del paesaggio circostante e delle sue metamorfosi stagionali.

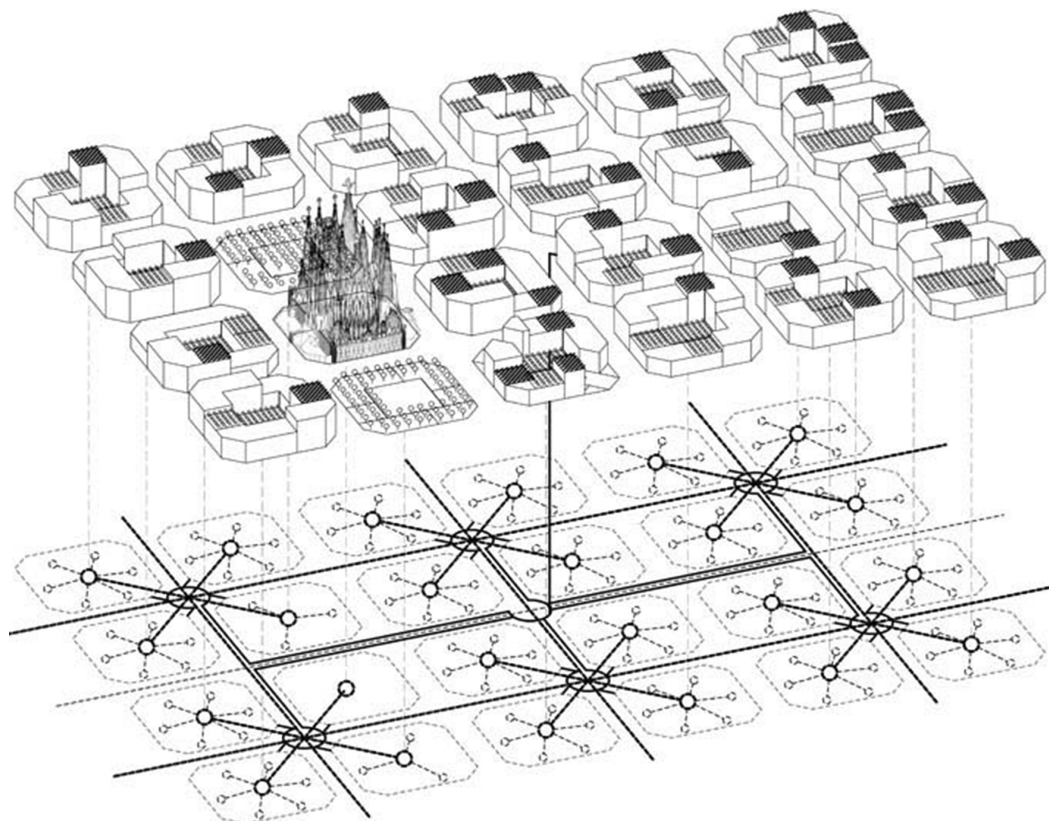
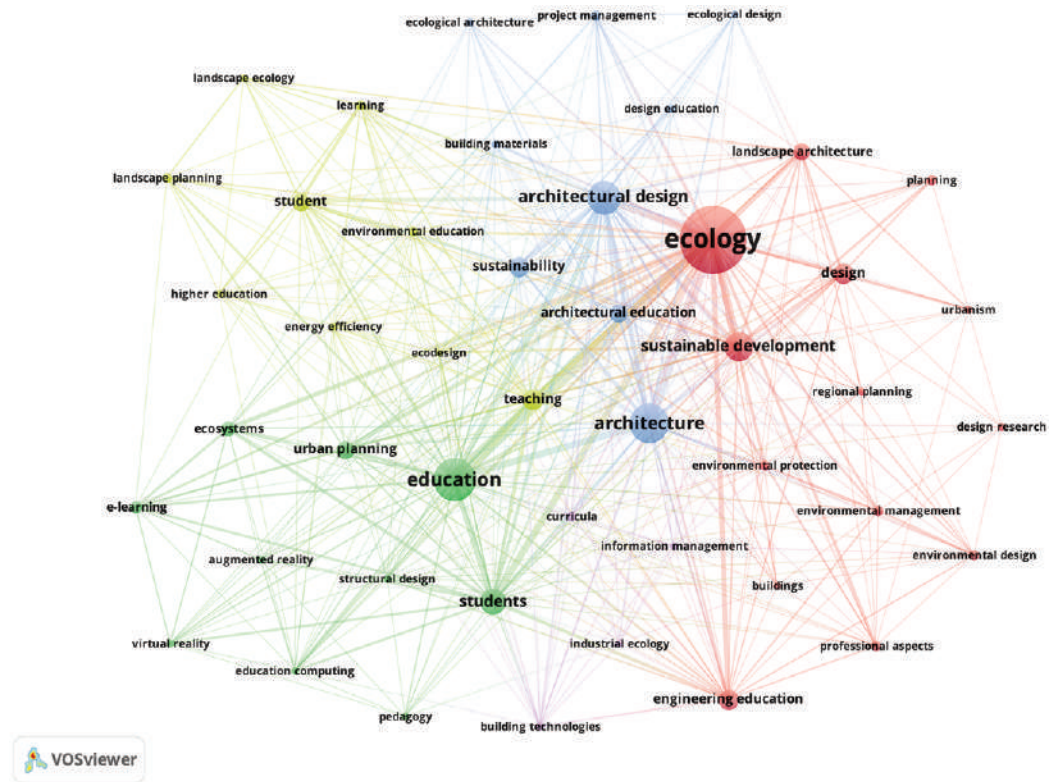
VL è un living lab, definito dall'European Network of Living Labs (ENoLL) come «[...] user-centred, open innovation ecosystems based on systematic user co-creation approach, integrating research and innovation processes in real-life communities and settings»<sup>8</sup>. Per le città e il mondo delle costruzioni, i living lab possono svolgere l'importante ruolo di mettere in risalto e riconnettere le relazioni metaboliche, altrimenti oscurate e mercificate, tra le fasi del processo (ad esempio, fase decisionale, approvvigionamento, produzione, trasformazione, costruzione e smaltimento). Presso VL, i fruitori (studenti, insegnanti, ricercatori, imprese in incubazione, tecnici comunali o utenti in generale) co-creano innovazioni alla scala architettonica e urbana e partecipano al sostentamento della struttura e della comunità stessa. Il laboratorio di creazione digitale (dotato di macchine per il taglio laser, stampanti 3D, fresatrici CNC, ecc.) e l'officina di falegnameria (attrezzata con strumenti manuali e meccanici) permettono a VL di superare i confini delle mura del laboratorio per includere i processi metabolici della GSF.

Le attività di GSF alimentano anche un impianto locale di energia a biomassa e valorizzano una 'food forest' biodinamica con una produzione significativa di frutta, noci e altri prodotti forestali non legnosi. Oltre alla silvicoltura, VL dispone di giardini terrazzati e serre irrigate da sistema di canalizzazioni che sfrutta il dislivello dei terrazzamenti della masia per distribuire l'acqua piovana raccolta in bacini e quella della falda freatica estratta dai pozzi orizzontali e verticali (qanats) costruiti dai monaci cappuccini che per primi si insediarono nel XII secolo<sup>9</sup>. In questi luoghi gli utenti di VL partecipano attivamente anche al funzionamento e alla manutenzione di queste infrastrutture, praticando così attività tecnologicamente avanzata in un 'monastero del XXI secolo', luogo dove avvengono i processi più elementari della vita sociale (Fig. 9). A differenza degli antichi monasteri, VL non è luogo claustrale ma aperto in termini di diversità disciplinare e culturale poiché i 15-20 studenti di ogni edizione del Master sono rappresentativi di quasi altrettante nazionalità. La composizione volutamente variegata della comunità, unita al metodo didattico del 'learning by living', consente ai partecipanti di apprendere in modo naturale, promuovendo una prospettiva 'glocale' caratterizzata da questioni sia locali che globali.

L'apprendimento è ulteriormente incoraggiato collocando gli studenti in ambienti condivisi con imprese giovani che detengono brevetti di tecnologie ecologiche e investono su attività di ricerca, sviluppo e innovazione; tra queste si segna-

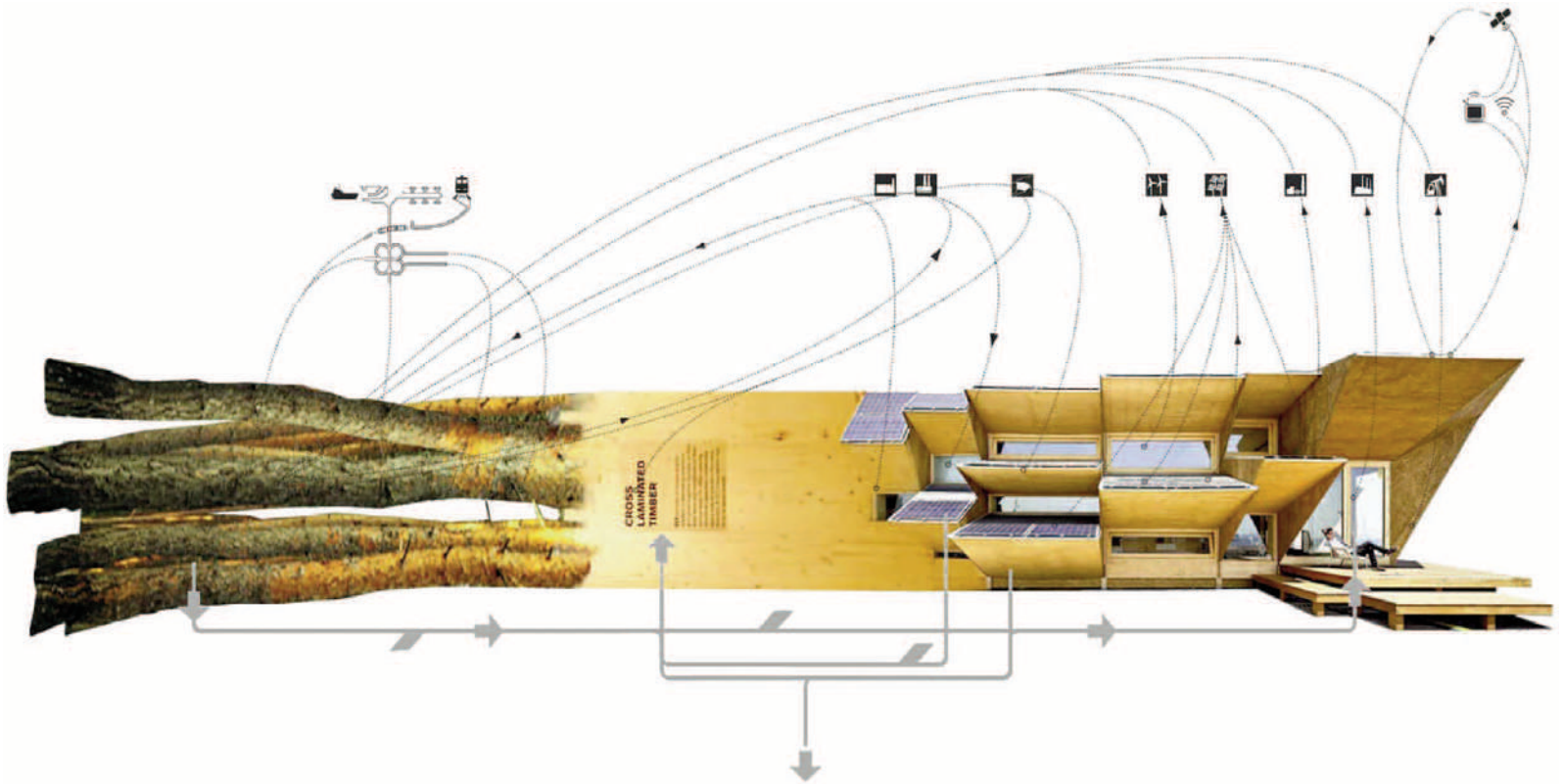
lano Dronecoria<sup>10</sup>, una piccola/media impresa (PMI) che sviluppa droni di compensato open-source, progettati per disperdere i semi degli alberi per la riforestazione, e Robotics for Microfarms<sup>11</sup> (ROMI), un progetto Horizon 2020 che sviluppa tecnologie robotiche e di intelligenza artificiale per aiutare le piccole aziende agricole a gestire la complessità dei regimi di semina diversificati.

**Un prototipo per il futuro** | Il coronamento del MAEBB annuale sono la progettazione, la fabbricazione e il montaggio di un prototipo di edificio ecologico avanzato. Le ultime tre edizioni del MAEBB<sup>12</sup> (Fig. 10) hanno portato alla realizzazione della Niu Haus/EcoHouse V01 (2019), del Voxel, una cabina di quarantena/EcoHouse V02 (2020) e della Solar Greenhouse (2021). I manu-



**Fig. 3** | Author keywords co-occurrence network created with VOSviewer, limited for legibility to the 49 keywords with at least 3 occurrences (credit: M. Salka, 2022; source: van Eck and Waltman, 2021).

**Fig. 4** | 'The self-sufficient city' theorises the city as a network of networks (source: Guallart, 2014).



**Fig. 5** | 'Wood urbanism' theorises architectural and urban metabolisms spanning from the forest, through material processing, to the construction, operation, and disassembly of buildings and cities (source: Ibañez, 2019).

fatti hanno un ingombro ridotto (circa 15-20 mq), in quanto vengono realizzati completamente in loco da un team eterogeneo di studenti, personale e volontari nell'arco delle 8-12 settimane, a completamento del programma. Tutti i progetti, che sono ampiamente scalabili (Perriccioli, Ruggiero and Salka, 2021), si basano principalmente su: design in legno massello, sequestro del carbonio, GSF e prefabbricazione modulare, Nature-based Value Chains corte e regionali, tracciabilità e quantificazione del carbonio incorporato e dell'energia dei materiali, sistemi decentralizzati e distribuiti di energia rinnovabile, gestione di acqua e rifiuti e infine sincronizzazione digitale dei dati.

I manufatti realizzati impiegano il legno, e in particolare quello ingegnerizzato, per i telai (Scouse et alii, 2020; Sposito and Scalisi, 2019), poiché questo materiale naturale genera una modesta emissione di gas serra (GHG), richiede un minore apporto di combustibili fossili durante il taglio, la fabbricazione, il trasporto e il montaggio rispetto a componenti equivalenti in acciaio o cemento, e consente una riduzione del carbonio atmosferico pari a circa 1,9 tonnellate per ogni metro cubo di prodotto in legno messo in opera (Churkina et alii, 2019; Himes and Busby, 2020; Sathre and O'Connor, 2010; Scouse et alii, 2020). La facilità di lavorazione e la leggerezza del legno, dotato di un buon rapporto resistenza-peso e modulo elastico-peso paragonabili all'acciaio strutturale (Ramage et alii, 2017), fanno sì che sia perfetto per la prefabbricazione modulare (Lehmann, 2013; Lowe, 2020; Scouse et alii, 2020).

La prefabbricazione è una valida alternativa a sistemi costruttivi tradizionali a umido e produce diversi vantaggi<sup>13</sup> quali una maggiore pre-

cisione dimensionale dei componenti, una più alta qualità dell'edificio, l'automazione della produzione, la riduzione di pericoli ricorrenti nei cantieri e di inquinamento acustico durante le fasi di realizzazione, la riduzione dei tempi di posa in opera e dei costi, ma anche una assoluta compatibilità con le logiche sostenibili del DfM e del DfD (Lehmann, 2013; Scalisi and Sposito, 2021). La leggerezza del legno rispetto all'acciaio o al calcestruzzo genera anche ulteriori benefici indotti, riducendo il materiale necessario per le fondazioni e la quantità di carburante e di attrezzature per la posa in opera ma anche migliorando le prestazioni sismiche del manufatto (Scouse et alii, 2020).

Ciononostante, il bilancio di CO<sub>2</sub> delle costruzioni in legno è strettamente legato alla provenienza e alla sostenibilità della materia prima. Così, per i prototipi, VL impiega il legname attraverso pratiche GSF prelevandolo dal Parco Naturale di Collserola (Aldeguer et alii, 2008; Banqué i Casanovas and Vayreda i Duran, 2010). La tenuta di Valldaura, disboscata per scopi agricoli negli anni '50 (Fig. 11), appare oggi lussureggiante con una quantità di pini d'Aleppo ('*Pinus halepensis*') superiore a quella di querce e altre specie a legno duro (ad esempio, '*Quercus alba*', '*Quercus ilex*', '*Corylus avellana*', '*Laurus nobilis*', ecc.), che invece normalmente sarebbero dominanti in una foresta secolare in questa zona geografica. Le direttive del Piano ufficiale del parco consentono di rimuovere selettivamente fino al 40% della biomassa esistente, fatto questo che non solo fornisce molta materia prima per le costruzioni sperimentali di VL e per la produzione di energia, ma accelera anche il ripristino dell'ecosistema, aumenta la biodiversità e riduce il rischio di incendio.

Dopo aver selettivamente raccolto il legno, VL supervisiona il processo di realizzazione in loco di una NbVC completa per fresare, asciugare, lavorare e trasformare il legname grezzo in prodotti a km zero ingegnerizzati, come il Cross-Laminated Timber (CLT). Riducendo le distanze geografiche tra le fasi del processo, VL è in grado di sfruttare strumenti digitali come la scansione fotogrammetrica e da drone lidar, così come la semplice videografia, la fotografia e la marcatura fisica con vernici colorate, il tutto per creare un database che permetta la tracciabilità in ogni fase dei materiali a partire dalle coordinate originali degli alberi, dal taglio del legname fino alla sua collocazione nell'edificio realizzato (Fig. 12). Questa metodologia operativa consente di calcolare con precisione carbonio ed energia incorporati, successivamente rappresentati in diagrammi di flusso interattivi Sankey e mappe dei punti di origine tramite interfacce software personalizzate e di facile lettura, sviluppate insieme ad esperti di visualizzazione dei dati (Fig. 13; Perriccioli, Ruggiero and Salka, 2021).

Queste interfacce permettono agli attori che non hanno esperienza nei protocolli tecnici Life Cycle Assessment di ottimizzare efficacemente le specifiche dei materiali e danno conferma che le opzioni bio-based sequestrano quantità considerevoli di CO<sub>2</sub> (Pacheco-Torgal, Ivanov and Tsang, 2020). Il Life Cycle Assessment ha consentito di quantificare il sequestro netto del Voxel pari a 3.326,87 kg di CO<sub>2</sub>, cifra che, presa singolarmente, può sembrare modesta a causa delle piccole dimensioni della struttura, ma se rapportata su scala globale può realizzare uno stoccaggio annuale tra i 10 e i 680 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub> (Churkina et alii, 2019). Infatti, tutte le iniziative di VL devono essere intese come spe-

rimentazioni concettuali per sviluppi più ambiziosi nel prossimo futuro. Al semplice osservatore esterno si può perdonare una classificazione riduttiva dei prototipi di VL come 'regionalisti' (in virtù del fatto che si sostanziano in NbVC corte e regionali), ma si tratta di un'interpretazione parziale poiché, sebbene il regionalismo è generalmente inteso in opposizione al metropolitano, le opere di VL sono sia regionali che metropolitane (e quindi globali), in quanto, nonostante la loro attuale collocazione sia in ambito rurale, si impegnano su temi e necessità proprie degli ambiti urbani.

In particolare, se la Niu Haus rappresenta una soluzione per vivere al di fuori delle città in modo minimalista, autosufficiente ed evasivo, il Voxel fornisce, sotto forma di rifugio per la quarantena, una risposta alle problematiche legate al Covid-19 e alla densità urbana, promuovendo la costruzione di alloggi collettivi in legno come pilota per un edificio di edilizia sociale in CLT di 40 unità abitative, che i Direttori di VL stanno preparando per il quartiere Sant Martí di Barcellona (Ajuntament de Barcelona, 2021). Infine, la Solar Greenhouse rappresenta un prototipo di moduli rapidamente implementabili per sfruttare l'alto numero di tetti urbani sottoutilizzati di Barcellona. L'impiego del design digitale e delle tecniche di fabbricazione, così come di altre tecnologie avanzate, rafforza l'idea che i prototipi di VL non si fondano sulla difesa di un arretramento regionale, né sulla regressione verso un passato vernacolare idealizzato, ma piuttosto propongono soluzioni cosmopolite se pur programmate a livello regionale.

Ogni prototipo di VL integra sistemi per la produzione di energia (fotovoltaico), la raccolta dell'acqua piovana, il riciclaggio e il trattamento di quelle grigie e dei rifiuti organici (attraverso la separazione dei liquidi dai solidi per il compostaggio o con digestori di biogas autonomi), secondo principi identici a quelli che la teoria de 'the self-sufficient city' auspica di portare in scala nell'ambito urbano. Inoltre, nonostante i prototipi siano allocati in siti distanti tra loro, sono di fatto connessi attraverso tecnologie all'avanguardia, come una rete 5G privata e autonoma, realizzata in collaborazione con un consorzio regionale di telecomunicazioni (Perriccioli, Ruggiero and Salka, 2021).

**Conclusioni** | In sintesi, VL riconosce la necessità che una nuova generazione di professionisti possieda le competenze interdisciplinari necessarie per mettere in campo azioni mitigative e adattive in risposta al cambiamento climatico globale, all'inquinamento ambientale, alla perdita di biodiversità e all'esaurimento delle risorse naturali in un contesto di continua crescita della popolazione e dei fenomeni di urbanizzazione. In letteratura sembra esistere una carenza su approcci formativi basati su pratiche ecologiche (in ambito architettonico e urbanistico) che impieghino sistemi innovativi per individuare risposte all'emergenza ambientale globale. VL colma questa lacuna fornendo agli studenti un 'living lab' dove approfondire congiuntamente il nuovo tema dell'ecologia e quello più tradizionale dell'architettura, per un'autosufficienza del costruito improntata ai principi di bioeconomia circolare basata sulle NbS. Il posizionamento all'interno di un'a-

rea tematica trascurata ma di fondamentale importanza, insieme alla metodologia formativa del 'learning by living' all'interno di una comunità diversificata e internazionale di coetanei e mentori, definisce il valore aggiunto e innovativo di VL rispetto ad altre attività didattiche pratiche.

VL implementa le metodologie formative dei pionieri TSOA e Hooke Park per creare un 'living lab' contemporaneo che facilita il 'learning by living' attraverso la realizzazione di prototipi. VL persegue così la realizzazione di un cambio di paradigma olistico, passando da metabolismi architettonici e urbani alimentati dai fossili, globalizzati, lineari, centralizzati, del tipo top-down, gerarchicamente rigidi e verticali, a metabolismi architettonici e urbani sostenuti da fonti rinnovabili, localizzati o regionalizzati, del tipo bottom-up, circolari, decentralizzati e distribuiti, bottom-up, dinamicamente reattivi e basati sulla natura, che mettono in armonia, piuttosto che in competizione, la prosperità dell'ambiente e quella della civiltà umana.

Tre sono i limiti individuati per la diffusione delle pratiche di VL, il primo dei quali legato al costo di iscrizione al Master che, pur essendo competitivo rispetto a quella di altre Università europee, rimane comunque, in assenza di finanziamento esterno, troppo elevato per molti studenti. Il secondo è legato al carattere immersivo e pratico e alla necessità di vivere all'interno della struttura per diversi mesi, il che richiede più tempo e maggiore impegno fisico rispetto a molti altri Master e compromette l'accessibilità a studenti con disabilità. Il terzo è relativo al taglio pratico delle attività di formazione, particolarmente adatto a classi di misura ridotta. In futuro sarebbe opportuno indagare come le metodologie formative di VL possano beneficiare di un maggior numero di studenti ma anche verificare la trasferibilità dei principi applicati da VL a contesti urbani con differenti requisiti climatici e risorse na-

turali, per esempio con la realizzazione di social housing che impiegano il CLT e di serre solari sui tetti nella città di Barcellona. Per il momento resta da vedere come i laureati delle tre edizioni del MAEBB metteranno in pratica quanto appreso presso VL al completamento del programma.

For the first time, in 2020, the overall material output of human activities (anthropomass), exceeded the 1.1 trillion tonnes of planetary biomass (Bar-On, Phillips and Milo, 2018; Elhacham et alii, 2020; Erb et alii, 2018). The resultant pressures of global climate change, environmental pollution, biodiversity loss, and natural resource depletion (Smil, 2012; Zalasiewicz et alii, 2019), combined with the need to continue enlarging the anthropomass to equip the ongoing growth and rural to urban migration of human populations (UN, 2019), place immense responsibility on those individuals and organisations engaged with the production of anthropogenic materials to lead the radical changes needed for transformations to a 'good' Anthropocene (McPhearson et alii, 2021). Designers and makers of the built environment have outstanding prospects to contribute, as buildings are the largest source of global CO<sub>2eq</sub> emissions (40%) when accounting for the production of their materials, construction processes, and operations<sup>1</sup>. Accepting this obligation, how can stakeholders go about making intelligent decisions of which building materials and systems to favour? This paper overviews how the Institute for Advanced Architecture of Catalonia's (IAAC) Valldaura Labs (VL) endows its students with the ability to innovate the answers through pedagogical prototyping and learning by living.

VL is a uniquely progressive living lab (Niitamo et alii, 2006) located only 10 km from Barcelo-

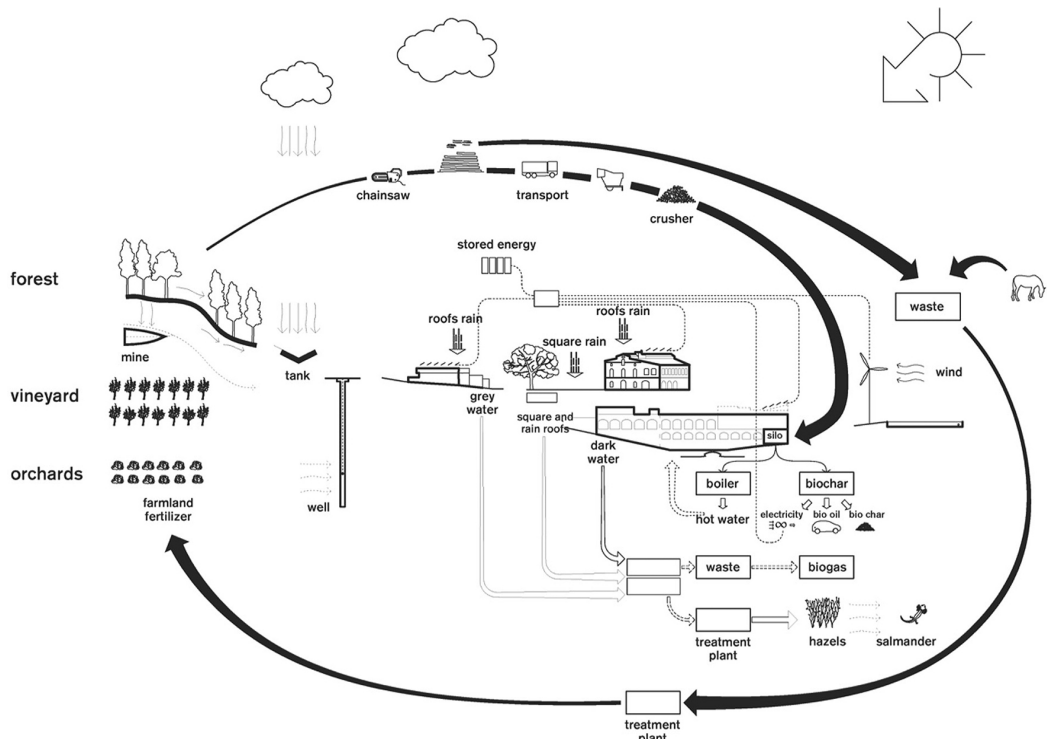


Fig. 6 | Circular metabolisms of VL (credit: Guallart, 2019).



Fig. 7 | Taliesin West (source: tsoa.edu/our-history/).

na's centre yet surrounded by the 1,300 hectares Collserola Natural Park. Anchored in a XIX-century farmhouse (masia) renovated to feature digital fabrication and carpentry workshops alongside domestic and academic amenities, VL hosts the immersive Master in Advanced Ecological Buildings & Biocities (MAEBB). Since 2018, the MAEBB has drawn approximately 75 students from around the world to live at the rural estate whilst studying and practising methods for intentionally blurring the distinction between anthropomass and biomass towards a 'unified' landscape (Ratti and Belleri, 2020; Simon, 1996). The MAEBB culminates annually in the autonomous conception and construction of a self-sufficient prototypical building relying upon local, nature-based means, materials, and circular flows to the greatest extent possible (Guallart, 2014).

VL fulfils this mandate by incorporating the estate's 135 hectares of forest within the metabolism of the premier Green Fab Lab<sup>2</sup>, supplying manual and computational design and manufacturing with natural material feedstocks through Sustainable Forest Management (SFM). In this way, VL educates the incipient generation of built environment practitioners through the hands-on realisation of carbon-negative, bioclimatic projects which elevate human health and wellbeing as well as improve the resilience of the ecosystems from which their materials are sourced and in which they are sited (Ibañez, Hutton and Moe, 2019).

Following this introduction and a review of the state-of-the-art which reveals VL's innovative alignment with scientific and cultural discourses such as Nature-based Solutions (NbSs), circular bioeconomy, and the New European Bauhaus

(European Commission, 2021), this paper proceeds to: introduce VL as a catalyst for transitions; discuss the background of learning by making; explain how VL fosters learning by living as a living lab; and summarise the prototypes through which VL demonstrates best practices of reference for integrating ecological and technological landscapes. Conclusions, barriers, limitations, and future developments or possible new research directions are then presented.

**Literature Review** | To contextualise how VL surpasses the state-of-the-art it is necessary to review the existing literature. Adopting the method of relevant prior studies, a systematic and bibliometric review has been conducted with the aid of Scopus (Choi, Berry and Smith, 2021; Darko et alii, 2020; Manzoor, Othman and Pomares, 2021; Pineda-Pinto, Frantzeskaki and Nygaard, 2021; Yin et alii, 2019). A title/abstract/keyword search of journal articles, conference proceedings, and book chapters was run for the query 'ecology AND architecture AND education'; 'ecology' was prioritised as a search term as it regards the relations of organisms with their physical environments from a biological perspective; 'architecture' for its reference to the art and science of designing and building as distinguished from the skills associated with construction; and 'education' for its use as an umbrella term covering formal curricula as well as trainings, mentorships, etc. Employing the PRISMA protocol (Page et alii, 2021), 195 initial results were successively screened. Of these, 81 full-text records were sought, and 34 successfully retrieved (Fig. 1). An acknowledged limitation is the restriction to records pub-

lished in English. Given greater capacity, recombining queries with alternative search terms such as 'climate change' could have expanded the scope of the review.

The publication dates of the 81 sought records indicate pairing ecology with architecture in education has burgeoned since 1976 through the peak years of 2015, 2016, 2018 and 2021 (7-8 records each; Fig. 2). The publication rate first rose steeply from 2012 (2 records) to 2013 (6 records). This fact may be attributable in part to the European Commission's promotion of NbSs since 2013, leading to targeted calls for proposals for large-scale NbSs demonstrations released in 2016 and 2017 (Faivre et alii, 2017). At the time of writing, it is not yet possible to determine the number of publications in 2022.

Next, as preceded by various bibliometric analyses in the architecture, engineering, and construction (AEC) industries, VOSviewer was used to visualise underlying trends and patterns in this corpus (van Eck and Waltman, 2010; Manzoor, Othman and Pomares, 2021; Babalola et alii, 2021; Vilutiene et alii, 2019; Liu, Lu and Peh, 2019; Santos, Costa and Grilo, 2017). The outcome of VOSviewer (network visualisation) is a map in which spacing, grouping, colour and node links are scaled according to the strength of the relationships between keywords (van Eck and Waltman, 2010; Fig. 3).

Beyond the relative prominence of concepts and their associations, this network reveals important knowledge gaps verified by the present authors' assessment of the 34 retrievable full-texts. Notably, the most influential interdisciplinary frameworks lately elaborated to ameliorate the



Fig. 8 | Hooke Park (source: AA, n.d.).

intersection of the built and natural environments are absent (e.g., NbSs and the circular bioeconomy; Escobedo et alii, 2019; Palahí et alii, 2020). Therefore, this analysis suggests that VL contributes originality by highlighting the role of ecological architectural education within the systemic shifts most recently deemed capable of delivering sustainability by the scientific community at large. Thus, VL aligns its activities with the New European Bauhaus mission of connecting the European Green Deal (European Commission, 2019) to our living spaces and experiences.

#### Valldaura Labs as a Catalyst of Transitions |

VL is a facility of IAAC, a private, non-profit, professional education, outreach, research, development, and innovation (R&D+I) organisation with the main campus located in Barcelona's 22@ urban innovation district (22@Network, n.d.). IAAC promotes the mission of «[...] envisioning the future habitat of our society and building it in the present [through syntheses with] the digital revolution at all scales (from bits to geography, from micro-controllers to cities, from materials to the territory) to expand the boundaries of architecture and design and meet the challenges faced by humanity»<sup>3</sup> and by enacting the philosophy of learning by doing. VL interprets the virtues of digital design and fabrication according to an ecological ethos influenced by the climate crisis, VL's forested location, and the theories of co-Directors Vicente Guallart and Daniel Ibañez of 'the self-sufficient city' and 'wood urbanism', respectively (Guallart, 2014; Ibañez, Hutton and Moe, 2019).

In short, 'the self-sufficient city' posits that In-

formation and Communications Technology (ICT) must underpin a radical urban revolution from the linear, centralised, top-down, hierarchically rigid production and provision of energy, goods, resources, and services to a circular, decentralised, distributed, bottom-up, dynamically responsive network of networks (Guallart, 2014). It advocates for a city in which every urban building or block is empowered to achieve some degree of self-sufficiency through localised energy generation and storage technologies (e.g., photovoltaics with battery backups), water collection, treatment and recycling systems (e.g., rainwater catchment, vegetated percolation, and greywater infrastructures), facilities for turning so-called 'waste' into assets (e.g., biogas or composting installations), amenities to cleanly convert raw materials into diverse useful items and to repair or modify those items (e.g., 3D printers, laser cutters, CNC milling machines, etc.), and assemblies for the growth of food (e.g., rooftop greenhouses) all collectively managed by an Internet of Things (IoT) consisting a multitude of sensors, actuators, information systems, and user-friendly interfaces. Moreover, such networked buildings or blocks are again to be networked with their neighbours (Fig. 4) in an urban infrastructural web made resilient through multilevel interconnectedness and the derived opportunities for flexible optimisation (Guallart, 2014).

'Wood urbanism' (Fig. 5) prescribes wood, especially engineered timber, as a primary material (mass timber) for substantiating the buildings and cities of the immediate future due to its exceptional structural, thermal, physiological and experiential properties, as well as the alignment

with circular bioeconomy principles due to its lightness, machinability and biodegradability, and its unmatched prospects for mitigating the current environmental, climatic, and biodiversity crises by sequestering carbon, valuing forests, and supporting Ecosystem Services when paired with SFM practices; 'wood urbanism' also recognises that, with improvements in buildings' operational efficiencies well underway, the 'embodied' impacts of materials and their production and construction processes represent increasingly dominant themes for future research (Ibañez, Hutton and Moe, 2019).

VL integrates the concepts of self-sufficiency and mass timber through a generative ecosystem of positively reinforcing km0 feedback loops, i.e., circular metabolisms (Fig. 6). The premise of km0 is taken to include the regional or local production of energy, goods, resources, and services through short, Nature-based Value Chains (NbVCs) provisioning renewable, bio-based assets (e.g., food, timber, and other non-wood forest products – NWFPS), plus inorganic though still nature-based assets (e.g., electricity from sunlight, water, soil, clay, etc.). The km0 principle is also applied to morphological processes determining architectural and urban forms through place-based heliomorphic adaptations responding to solar parameters and thermodynamic adaptations responding to fluxes of air, moisture, and heat<sup>4</sup> (Bruno, Arcuri and Carpino, 2015; Mastouri et alii, 2017). Facilitated by the advanced digital design and fabrication and ICT networking referenced above, as well as prefabrication, modularity, DfM – Design for Manufacture, and DfD – Design for Disassembly (Esmailian, Behdad and Wang, 2016),





Fig. 9 | MAEBB students engaged in diverse aspects of learning by living at VL (credit: Vallldaura Labs, 2021).

VL views the end goal of weaving together these nature-based km0 circular metabolisms as a shift from the globalised, extractive, fossil-fuelled status quo to a renewably-sustained, localised or regionalised paradigm.

**Learning by Making** | IAAC emphasises learning by doing in all of its curricula. For architectural and urban practitioners, a core facet of learning by doing is learning by making, that is to say fabricating, assembling, and implementing elements of the built environment. The merger of a hands-on pedagogy with ecological factors at VL is inspired by groundbreaking historical models.

First is The Taliesin Fellowship, founded in 1932 and rebranded in 2017 as The School of Architecture at Taliesin (TSOA). Here apprentices initially worked hand in hand with Frank Lloyd Wright on such iconic projects as Fallingwater (1936-1939) and the Guggenheim Museum (1956-1959), whilst simultaneously steeped in Wright's 'organic' approach to design and the dramatic landscapes of Taliesin and Taliesin West (Fig. 7). Apprentices not only worked and studied in these environs but also lived on-site in shelters of their own design and farmed the terrain (Gibson, 2020). Echoing 'the self-sufficient city', Wright's original aim was that «[...] the entire work of feeding and caring for the student body so far as possible should be done by itself [...] work in the gardens, fields, animal husbandry, laundry, cooking, cleaning, serving should rotate among the students according to some plan that would make them all do their bit with each kind of work at some time»<sup>5</sup>. Apart from inspiring architectural excellence, Wright intended such immersion to develop well-correlated, creative human beings with wide horizons (Gibson, 2020).

After graduating more than 1,200 practitioners an over 88-year tenure at Taliesin and Taliesin West, TSOA announced plans to move to Paolo Soleri's nearby Arcosanti and Cosanti developments<sup>6</sup> (1956-1970). Soleri, another well-spring for VL, was of like mind with Wright in many ways, having coined the term 'arcology' – a portmanteau of 'architecture' with 'ecology' (Grierson, 2016; Pacheco, 2020).

A more recent source of inspiration for VL is the Architectural Association's (AA, n.d.) Hooke Park (Fig. 8), which is particularly relevant to VL due to the common application of advanced digital tools to ecological design. Established in the 1980s as a counterpoint to the AA's metropolitan headquarters in London, Hooke Park hosts a 12 or 16-month Design and Make programme and short residential workshops for landscape-focused projects between various assembly, fabrication, and accommodation spaces within a designated Ancient Woodland of the Dorset Area of Outstanding Natural Beauty.

VL also draws upon a lineage of prototypical design, fabrication, and construction initiatives within the remit of IAAC. These include the Fab Lab House (2010), the Endesa Pavilion (2011), and Endesa World Fab Condenser (2014), which exemplify environmentally and energetically responsive, co-created, digitally designed and fabricated timber building systems<sup>7</sup>. The golden thread binding these progenitors and VL is the fundamental need to re-materialise architectural and urban education and erase the notion of the

architect or designer as a decision-maker withdrawn from the act of making.

**Valldaura as a Living Lab** | Like Taliesin before it, VL pushes learning by doing to its furthest extent, immersing students, researchers, and volunteers in an unparalleled experience of learning by living. To creatively reintegrate the natural and built environments, built environment practitioners must come to understand the natural environments which host and sustain their constructions. Living, working and studying biology, ecology, and agriculture in complement to more conventional architectural topics at VL for a full calendar year, students gain intimate familiarity with the enveloping landscape and its seasonal metamorphoses.

VL functions as a living lab, defined by the European Network of Living Labs (ENoLL) as «[...] user-centred, open innovation ecosystems based on systematic user co-creation approach, integrating research and innovation processes in real-life communities and settings»<sup>8</sup>. In the case of cities and the AEC industries, living labs may play the important role in illuminating and reconnecting the otherwise black-boxed and commodified metabolic relations of urbanisation (e.g., decision-making, sourcing, production, transformation, building, and disposal). At VL, users (students, instructors, researchers, incubated entrepreneurs, municipal actors, or members of the general public) co-create architectural and urban innovations, as well as the sustenance of the facility and community itself. Together, VL's digital fabrication lab (with laser cutters, 3D printers, CNC milling machines, etc.), and carpentry workshop (with passive and powered tools) enable VL to exceed the boundaries of the laboratory walls and encompass the forests of the estate within its metabolisms through SFM.

SFM operations also fuel an on-site biomass energy plant and enhance the biodynamic 'food forest' with significant production of fruits, nuts, and other NWFPs. Besides silviculture, VL features terraced gardens and greenhouses irrigated by a graduated cascade of tanks and basins which collect rainwater through catchment systems connected to the masia's exposed terraces, and groundwater through vertical and horizontal wells (qanats) constructed by capuchin monks who first settled the area in the 12th century<sup>9</sup>. VL's users actively participate in the operation and maintenance of these infrastructures, thereby practising advanced craftsmanship in a 'monastery of the 21st century', in the sense of being a place where all the most basic processes of social reproduction occur (Fig. 9). Unlike ancient monasteries, VL is not cloistered but richly cosmopolitan in terms of the disciplinary and cultural diversity of users present at any given time; the 15-20 MAEBB students of each edition consistently represent nearly as many nationalities. This purposefully variegated community makeup, joined with the learning by living pedagogy, results in an immeasurable amount of tacit exchange bolstering a 'glocal' perspective characterised by both local and global considerations.

The tacit learning is further encouraged by situating students in spaces shared with incubated entrepreneurial ecological technology and related cross-cutting R&D+I endeavours. Recent



**Fig. 10** | MAEBB prototypes, from top to bottom: the Niu Haus/EcoHouse V01, 2019; the Voxel, a Quarantine Cabin/EcoHouse V02, 2020; and the Solar Greenhouse, 2021 (credit: Valldaura Labs).

accompanying users include Dronecoria<sup>10</sup>, a small/medium enterprise (SME) developing open-source, digitally-fabricated plywood drones to disperse tree seeds for re/afforestation, and Robotics for Microfarms<sup>11</sup> (ROMI), a Horizon 2020 project developing appropriate robotic and computer vision technologies to aid small-scale farms in handling the complexity of diversified planting regimes.

**Prototyping the Future** | The capstone of the MAEBB is the collaborative design, fabrication and assembly of one prototypical advanced ecological building per year. The three editions of the MAEBB<sup>12</sup> (Fig. 10) to date have resulted in the successful completion of the Niu Haus/EcoHouse V01 (2019), the Voxel, a Quarantine Cabin/EcoHouse V02 (2020), and the Solar Greenhouse (2021). Whereas feasibility compels these projects to occupy a small physical footprint (approximately 15-20 sqm) seeing as they are rapidly realised

with every stage of the work undertaken by an egalitarian team of students, staff, and volunteers in on-site facilities, they nonetheless encapsulate extensively scalable ideas (Perriccioli, Ruggiero and Salka, 2021). Chiefly, these 'big ideas' include: mass timber design, carbon sequestration, SFM and modular prefabrication; short and regional NbVCs; quantitative traceability of materials' embodied carbon and energy; decentralised and distributed renewable energy, water and waste systems; and informational connectivity.

Mass timber design is defined as that which heavily utilises wood products, specially engineered timber, for building frames (Scouse et alii, 2020; Sposito and Scalisi, 2019). These wood products generate far fewer greenhouse gas (GHG) emissions and require less fossil fuel inputs during extraction, manufacture, transport, and erection than alternative steel or concrete components, engendering atmospheric carbon

reductions of approximately 1.9 tonnes per metre cube of installed wood product (Churkina et alii, 2019; Himes and Busby, 2020; Sathre and O'Connor, 2010; Scouse et alii, 2020). Harmoniously, the easy machinability and lightness of timber, with strength-to-weight and elastic modulus-to-weight ratios comparable to structural steel (Ramage et alii, 2017), makes wood products optimally suited to modular prefabrication (Lehmann, 2013; Lowe, 2020; Scouse et alii, 2020).

Prefabrication represents a desirable alternative to traditional in-situ construction due to several benefits<sup>13</sup>, including: improving the precision of components and the quality of the building; enabling automation of production; reducing the hazards of building sites during construction; reducing the ecological or urban disturbance of building sites during construction; shortening the erection time; reducing the cost; and enabling DfM and DfD (Lehmann, 2013; Scalisi and Spo-

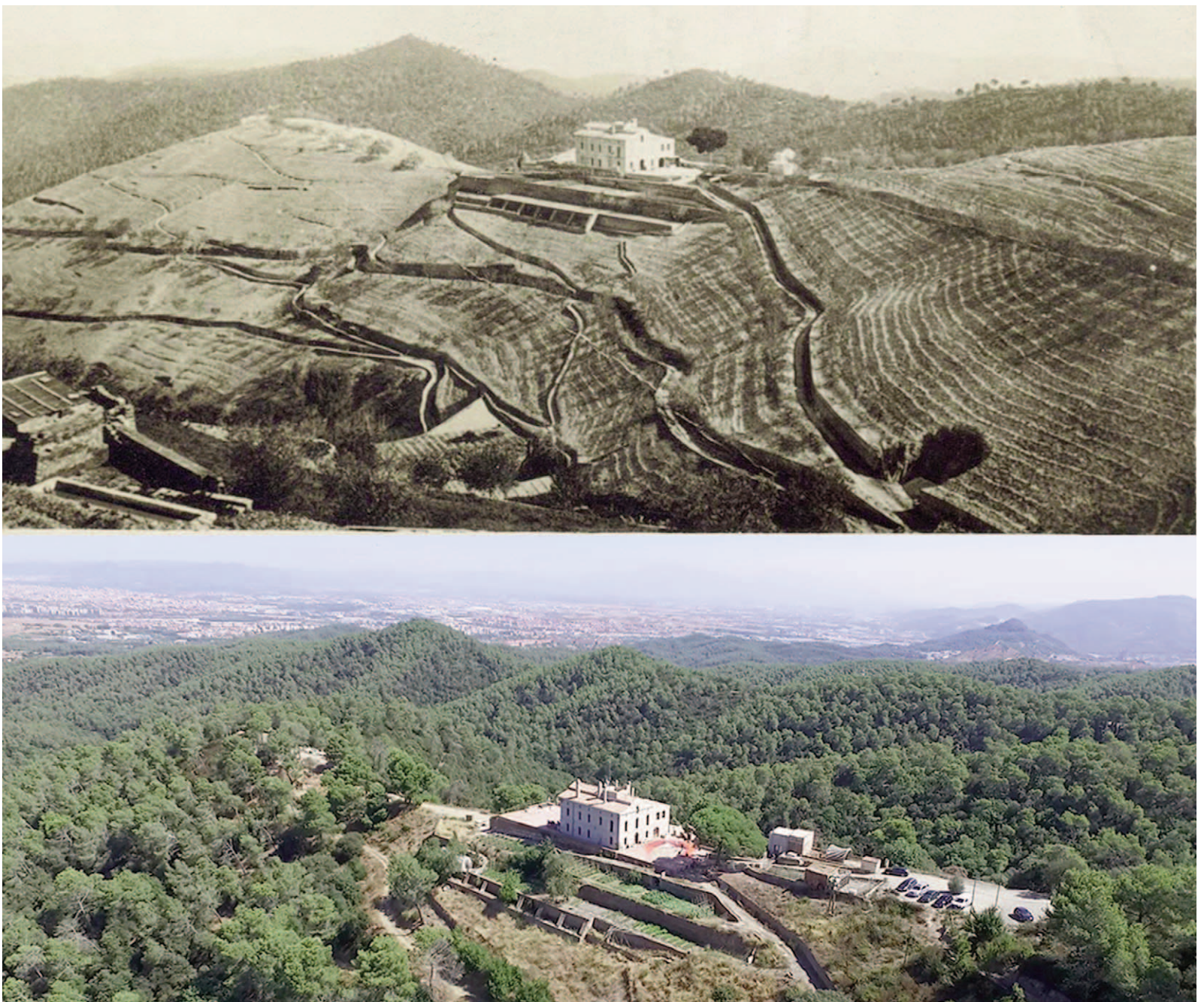


Fig. 11 | Valldaura estate clear-cut in the 1950's and recently revegetated with pioneering forest species (source: valldaura.net, 2021).

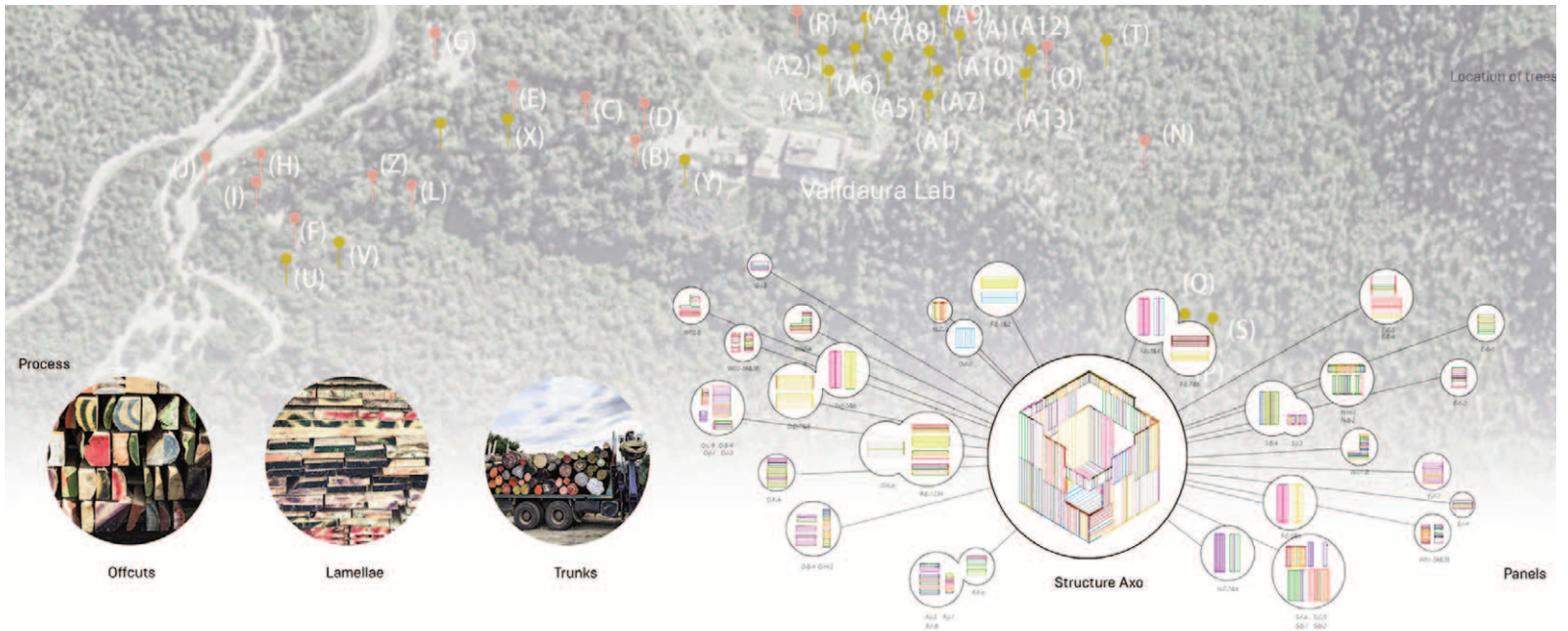


Fig. 12 | Diagram illustrating the record maintained of material traceability, from tree, to 3D model, to built structure (credit: Valldaura Labs, 2021).

sito, 2021). The comparative lightness of timber to steel or concrete forwards other beneficial feedback loops as well, whether by reducing the amount of material needed for foundations, reducing the amount of fuel and equipment needed for assembly, or improving seismic performance (Scouse et alii, 2020).

Still, the carbon budget of mass timber constructions depends largely upon that timber being sourced through SFM. VL obtains timber for its prototypes through SFM practices in line with the official Plan for the greater Collserola Natural Park (Aldeguer et alii, 2008; Banqué i Casanovas and Vayreda i Duran, 2010). Despite appearing lushly vegetated today, the Valldaura estate was clear-cut for agricultural purposes as recently as the 1950s (Fig. 11). Consequently, the pioneering Aleppo pine trees (*Pinus halepensis*) currently overshadow and overcrowd the oaks and other hardwoods (e.g., *Quercus alba*, *Quercus ilex*, *Corylus avellana*, *Laurus nobilis*, etc.) which would naturally dominate a mature forest in this location. Accordingly, the directive to selectively remove up to 40% of the extant biomass not only provides ample timber for VL's experimental constructions and energy production but also accelerates ecological succession, boosting biodiversity and ES mitigating erosion, runoff, and fire risk.

After selectively harvesting said timber, VL oversees the on-site facilitation of a comprehensive NbVC which mills, dries, processes, and transforms the raw lumber into km0 engineered timber products such as Cross-Laminated Timber (CLT). By geographically condensing the entirety of this sequence, VL is able to leverage digital tools such as photogrammetric and lidar drone scanning, as well as simple videography, photography, and physical marking with coloured paints, to inform a database permitting traceability of the materials from the trees' original standing coordinates through every phase of transportation or transformation leading to their positions in the finished building (Fig. 12). This pursuit

in turn enables the precise calculation of embodied carbon and energy, subsequently diagrammed as interactive Sankey flow charts and point of origin maps via custom, easily-read software interfaces developed in tandem with data visualisation experts (Fig. 13; Perriccioli, Ruggiero and Salka, 2021).

These interfaces empower actors lacking expertise in technical Life Cycle Assessment protocols to effectively optimise material specifications and evidence that favouring bio-based options sequesters substantial amounts of CO<sub>2</sub> (Pacheco-Torgal, Ivanov and Tsang, 2020). Such tools showed that VL's Voxel achieved net sequestration of 3,326.87 kg of CO<sub>2</sub>. Whilst this singular figure may appear modest due to the small size of the structure, research implies that, scaled to global proportions, equivalent construction of timber buildings for new urban dwellers could store 10 to 680 million tonnes of CO<sub>2</sub> per year (Churkina et alii, 2019). Indeed, all of VL's initiatives are to be understood as proofs of concept seeding grander, near-future developments. Whilst the casual observer may be forgiven for classifying VL's prototypes under regionalism or regional design due to their substantiation by short, regional NbVCs, this is a partial interpretation. Regionalism is generally understood in opposition to metropolitanism, whereas the works of VL are both regional and metropolitan (i.e., glocal), in that, despite their rural locations, they engage thematically with urban/metropolitan situations, demands, and conditions.

Specifically, the Niu Haus represents a solution for minimal, self-sufficient, escapist living outside cities; whereas the Voxel responds to Covid-19 and urban density as a shelter for quarantine and generates a dialogue with mass timber collective housing construction by serving as the pilot demonstrator for a 40-dwelling unit CLT social housing building now being prepared by the directors of VL for construction in the Sant Martí district of Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 2021). In turn, the Solar Greenhouse rep-

resents a prototype for rapidly deployable modules to augment underutilised urban rooftops throughout the city of Barcelona. The prioritisation of digital design and fabrication techniques and incorporation of other advanced technologies reinforce the fact that VL's prototypes do not manifest advocacy of regional retrenchment, nor a regression to an idealised vernacular past, but rather propose regionally-informed, cosmopolitical solutions.

Finally, every VL prototype integrates photovoltaic energy, water collection and greywater recycling, and blackwater and organic waste treatment (either via the separation of liquids from solids for composting or in self-contained biogas digesters) identical to those which 'the self-sufficient city' theory espouses being brought to scale in the urban realm. Similarly, belying the isolation of their sites, VL's prototypes are informationally connected through cutting-edge installations such as a private, stand-alone rural 5G network established in partnership with a consortium of regional telecom organisations (Perriccioli, Ruggiero and Salka, 2021).

**Conclusions** | In summary, VL acts upon re-governance practitioners versed in the interdisciplinary knowledge domains required to mitigate and adapt to global climate change, environmental pollution, biodiversity loss, and natural resource depletion in the face of ongoing population growth and urbanisation. Elsewhere, there is an apparent shortage of approaches synthesising hands-on ecological, architectural, and urban pedagogies with the emergent systems framing solutions to global environmental challenges. VL fills this gap by embedding students in a living lab where they study both ecological and architectural topics in order to explore the areas of overlap, and engage in all the acts of self-sufficient production which correspond with the principles of a circular bioeconomy based on NbSs. It is this positioning within a neglected, critical area of synthetic focus, paired with the gestalt

combination of tacit learning by living within a diverse, worldly community of peers and mentors, that enables VL to add value beyond that of other hands-on educational activities.

VL progresses the innovative historic precedents of TSOA and Hooke Park to create a distinctly contemporary form of living lab facilitating learning by living through pedagogical prototyping. In this way, VL pursues the mission of realising a holistic paradigm shift from fossil-fuelled, globalised, linear, centralised, top-down, hierarchically rigid architectural and urban metabolisms to renewably-sustained, localised or regionalised, circular, decentralised and distributed, bottom-up, dynamically responsive, nature-based architectural and urban metabolisms which bring the

prosperity of the environment and that of human civilisation into mutualistic symbiosis rather than competition.

A notable barrier limiting dissemination of good practices from VL is the inaccessibility of total participation in the educational programmes. Although tuition fees are competitive with comparable European Universities, they remain too expensive for many prospective students to afford lacking external funding. More particularly, the immersive, hands-on, residential character of the MAEBB demands greater time and physical commitments than many other master's programmes, compromising accessibility for prospective students balancing other commitments or disabilities. The hands-on instruction format also

benefits from smaller class sizes. In the future, it would be worth investigating how the VL training methodologies can benefit more students, but also how the VL principles can be transferred to different urban contexts with different climatic requirements and natural resources, e.g., social housing using CLT and solar greenhouses on roofs in the city of Barcelona. For the time being, it remains to be seen how the graduates of the three MAEBB editions will put into wider practice what they have learned at VL through the completion of the programme.

## Acknowledgements

The contribution, resulting from a common reflection, is to be assigned in equal parts to all the Authors.

## Notes

1) For more information, see the webpage: [architecture2030.org/](http://architecture2030.org/) [Accessed 21 March 2022].

2) The term Metabolism is used herein to broadly signify the processing of matter and energy to maintain life)

3) For more information, see the webpage: [iaac.net/iaac/about/](http://iaac.net/iaac/about/) [Accessed 21 March 2022].

4) For more information, see the webpages: [passivehouse.com/](http://passivehouse.com/); [officeforurbanization.org/heliomorphism/](http://officeforurbanization.org/heliomorphism/) [Accessed 21 March 2022].

5) For more information, see the webpage: [tsoa.edu/our-history/](http://tsoa.edu/our-history/) [Accessed 21 March 2022].

6) For more information, see the webpage: [arcosanti.org/arcology/](http://arcosanti.org/arcology/) [Accessed 21 March 2022].

7) For more information, see the webpages: [iaac.net/project/endesa-world-fab-condenser/](http://iaac.net/project/endesa-world-fab-condenser/); [iaac.net/project/endesa-pavilion/](http://iaac.net/project/endesa-pavilion/); [iaac.net/project/fab-lab-solar-house/](http://iaac.net/project/fab-lab-solar-house/) [Accessed 21 March 2022].

8) For more information, see the webpage: [enoll.org/about-us/](http://enoll.org/about-us/) [Accessed 21 March 2022].

9) For more information, see the webpage: [valldaura.net/about/history/](http://valldaura.net/about/history/) [Accessed 21 March 2022].

10) For more information, see the webpage: [dronecوريا.org/en/main/](http://dronecوريا.org/en/main/) [Accessed 21 March 2022].

11) For more information, see the webpage: [romi-project.eu/](http://romi-project.eu/) [Accessed 21 March 2022].

12) For more information, see the webpages: [valldaura.net/labs/other-research-activities/](http://valldaura.net/labs/other-research-activities/); [valldaura.net/ecohouse-v01-prototype-the-niu-haus/](http://valldaura.net/ecohouse-v01-prototype-the-niu-haus/); [valldaura.net/ecohouse-v02-prototype-the-voxel-a-quarantine-cabin/](http://valldaura.net/ecohouse-v02-prototype-the-voxel-a-quarantine-cabin/); [valldaura.net/solar-greenhouse/](http://valldaura.net/solar-greenhouse/) [Accessed 21 March 2022].

13) For more information, see the webpage: [constructionworld.org/7-benefits-prefabricated-construction/](http://constructionworld.org/7-benefits-prefabricated-construction/) [Accessed 21 March 2022].

## References

22@Network (n.d.), *Innovation District*. [Online] Available at: [22network.net/district-22/?lang=en](http://22network.net/district-22/?lang=en) [Accessed 21 March 2022].

AA – Architectural Association (n.d.), *Hooke Park*. [Online] Available at: [aaschool.ac.uk/about/hookepark](http://aaschool.ac.uk/about/hookepark) [Accessed 21 March 2022].

Ajuntament de Barcelona (2021), *Resolt el concurs per construir quatre promocions d'habitatge industrialitzat a Sant Martí*, 02/08/2021. [Online] Available at: [ajuntament.barcelona.cat/premsa/2021/08/02/resolt-el-concurs-per-construir-quatre-promocions-dhabitatge-indus](http://ajuntament.barcelona.cat/premsa/2021/08/02/resolt-el-concurs-per-construir-quatre-promocions-dhabitatge-indus)

[trialitzat-a-sant-marti/](http://trialitzat-a-sant-marti/) [Accessed 21 March 2022].

Aldeguer, A., Capdevila, M., Ceresuela, C., Izquierdo R. and Puy, E. (2008), “Anàlisi i gestió dels recursos forestals del Parc de Collserola”, in *Diagnosi ambiental al Parc de Collserola*, pp. 71-77. [Online] Available at: [parcs.diba.cat/documents/75109/786eafe2-c48b-4722-bb2f-66fd90b83185](http://parcs.diba.cat/documents/75109/786eafe2-c48b-4722-bb2f-66fd90b83185) [Accessed 21 March 2022].

Babalola, A., Musa, S., Akinlolu, M. T. and Haupt, T. C. (2021), “A bibliometric review of advances in building information modeling (BIM) research”, in *Journal of Engineering, Design and Technology*, vol. ahead-of-print, n. ahead-of-print. [Online] Available at: [doi.org/10.1108/JEDT-01-2021-0013](https://doi.org/10.1108/JEDT-01-2021-0013) [Accessed 21 March 2022].

Banqué i Casanovas, M. and Vayreda i Duran, J. (2010), *Estudi del potencial d'aprofitament forestal al Parc Natural de la Serra de Collserola*, CREA. [Online] Available at: [parcnaturalcollserola.cat/pdfs/cdreR7648.pdf](http://parcnaturalcollserola.cat/pdfs/cdreR7648.pdf) [Accessed 21 March 2022].

Bar-On, Y. M., Phillips, R. and Milo, R. (2018), “The biomass distribution on Earth”, in *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, n. 25, pp. 6506-6511. [Online] Available at: [doi.org/10.1073/pnas.1711842115](https://doi.org/10.1073/pnas.1711842115) [Accessed 21 March 2022].

Bruno, R., Arcuri, N. and Carpino, C. (2015), “The Passive House in Mediterranean Area – Parametric Analysis and Dynamic Simulation of the Thermal Behaviour of an Innovative Prototype”, in *Energy Procedia*, vol. 82, pp. 533-539. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.866](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.866) [Accessed 21 March 2022].

Choi, C., Berry, P. and Smith, A. (2021), “The climate benefits, co-benefits, and trade-offs of green infrastructure – A systematic literature review”, in *Journal of Environmental Management*, vol. 291, 112583, pp. 1-16. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112583](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112583) [Accessed 21 March 2022].

Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C., Vinke, K., Ruff, A., Liu, Z., Reck, B., Graedel, T. and Schellnhuber, J. (2019), “Buildings as a global carbon sink”, in *Nature Sustainability*, vol. 3, pp. 269-273. [Online] Available at: [doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4](https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4) [Accessed 21 March 2022].

Darko, A., Chan, A. P. C., Adabre, M. A., Edwards, D. J., Hosseini, M. R. and Ameyaw, E. E. (2020), “Artificial intelligence in the AEC industry – Scientometric analysis and visualization of research activities”, in *Automation in Construction*, vol. 112, article 103081, pp. 1-19. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103081](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103081) [Accessed 21 March 2022].

Elhacham, E., Ben-Uri, L., Grozovski, J., Bar-On, Y. M. and Milo, R. (2020), “Global human-made mass exceeds all living biomass”, in *Nature*, vol. 588, pp. 442-444. [Online] Available at: [doi.org/10.1038/s41586-020-3010-5](https://doi.org/10.1038/s41586-020-3010-5) [Accessed 21 March 2022].

Erb, K.-H., Kastner, T., Plutzer, C., Bais, A. L. S., Car-

valhais, N., Fetzl, T., Gingrich, S., Haberl, H., Lauk, C., Niedertscheider, M., Pongratz, J., Thurner, M. and Luysaert, S. (2018), “Unexpectedly large impact of forest management and grazing on global vegetation biomass”, in *Nature*, vol. 553, pp. 73-76. [Online] Available at: [doi.org/10.1038/nature25138](https://doi.org/10.1038/nature25138) [Accessed 21 March 2022].

Escobedo, F. J., Giannico, V., Jim, C. Y., Sanesi, G. and Laforteza, R. (2019), “Urban forests, ecosystem services, green infrastructure and nature-based solutions – Nexus or evolving metaphors?”, in *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 37, pp. 3-12. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.ufug.2018.02.011](https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.02.011) [Accessed 21 March 2022].

Esmailian, B., Behdad, S. and Wang, B. (2016), “The evolution and future of manufacturing – A review”, in *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 39, pp. 79-100. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.jmsy.2016.03.001](https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2016.03.001) [Accessed 21 March 2022].

European Commission (2021), *New European Bauhaus – Beautiful, Sustainable Together*. [Online] Available at: [europa.eu/new-european-bauhaus/index\\_en](http://europa.eu/new-european-bauhaus/index_en) [Accessed 21 March 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/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN) [Accessed 21 March 2022].

Faivre, N., Fritz, M., Freitas, T., de Boissezon, B. and Vandewoestijne, S. (2017), “Nature-Based Solutions in the EU – Innovating with nature to address social, economic and environmental challenges”, in *Environmental Research*, vol. 159, pp. 509-518. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.032](https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.032) [Accessed 21 March 2022].

Gibson, E. (2020), “Shutting the School of Architecture at Taliesin is ‘an assault on Wright’s legacy’, says architect Ben Aranda”, in *Dezeen*, 29/01/2020. [Online] Available at: [dezeen.com/2020/01/29/school-of-architecture-at-taliesin-frank-lloyd-wright-reaction-ben-aranda/](http://dezeen.com/2020/01/29/school-of-architecture-at-taliesin-frank-lloyd-wright-reaction-ben-aranda/) [Accessed 21 March 2022].

Grierson, D. (2016), “Unfinished business at the urban laboratory – Paolo Soleri, Arcology, and Arcosanti”, in *Open House International*, vol. 41, issue 4, pp. 63-72. [Online] Available at: [doi.org/10.1108/OHI-04-2016-B0009](https://doi.org/10.1108/OHI-04-2016-B0009) [Accessed 21 March 2022].

Guallart, V. (2014), *The Self-Sufficient City – Internet has changed our lives but it hasn't changed our cities*, yet, Actar Publisher, New York.

Haddaway, N. R., McGuinness, L. A. and Pritchard, C. C. (2021), *PRISMA2020 – R package and ShinyApp for producing PRISMA 2020 compliant flow diagrams*. [On-

line] Available at: doi.org/10.5281/ZENODO.4287834 [Accessed 21 March 2022].

Himes, A. and Busby, G. (2020), “Wood buildings as a climate solution”, in *Developments in the Built Environment*, vol. 4, article 100030, pp. 1-7. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100030 [Accessed 21 March 2022].

Ibañez, D., Hutton, J. E. and Moe, K. (eds) (2019), *Wood Urbanism – From the molecular to the territorial*, Actar Publishers.

Lehmann, S. (2013), “Low carbon construction systems using prefabricated engineered solid wood panels for urban infill to significantly reduce greenhouse gas emissions”, in *Sustainable Cities and Society*, vol. 6, pp. 57-67. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scs.2012.08.004 [Accessed 21 March 2022].

Liu, Z., Lu, Y. and Peh, L. C. (2019), “A Review and Scientometric Analysis of Global Building Information Modeling (BIM) Research in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) Industry”, in *Buildings*, vol. 9, issue 10, article 210, pp. 1-34. [Online] Available at: doi.org/10.3390/buildings9100210 [Accessed 21 March 2022].

Lowe, G. (2020), *Wood, Well-being and Performance – The Human and Organizational Benefits of Wood Buildings*, Forest Innovation Investment. [Online] Available at: naturallywood.com/wp-content/uploads/wood-well-being-and-performance\_report\_graham-lowes.pdf [Accessed 21 March 2022].

Manzoor, B., Othman, I. and Pomares, J. C. (2021), “Digital technologies in the architecture, engineering and construction (AEC) industry – A bibliometric-qualitative literature review of research activities”, in *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 18, issue 11, article 6135, pp. 1-26. [Online] Available at: doi.org/10.3390/ijerph18116135 [Accessed 21 March 2022].

Mastouri, H., Benhamou, B., Hamdi, H. and Mouyal, E. (2017), “Thermal performance assessment of passive techniques integrated into a residential building in semi-arid climate”, in *Energy and Buildings*, vol. 143, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.022 [Accessed 21 March 2022].

McPhearson, T., Raymond, C. M., Gulrud, N., Albert, C., Coles, N., Fagerholm, N., Nagatsu, M., Olafsson, A. S., Soiminen, N. and Vierikko, K. (2021), “Radical changes are needed for transformations to a good Anthropocene”, in *Npj Urban Sustainability*, vol. 1, issue 1, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1038/s42949-021-00017-x [Accessed 21 March 2022].

Niitamo, V.-P., Kulki, S., Eriksson, M. and Hribernik, K. A. (2006), “State-of-the-art and good practice in the field of living labs”, in *2006 IEEE International Technology Management Conference (ITMC)*, pp. 1-8. [Online] Available at: doi.org/10.1109/ITMC.2006.7477081 [Accessed 21 March 2022].

Pacheco, A. (2020), “Leaders of the School of Architecture at Taliesin and Cosanti share their vision for the future of organic architecture”, in *Architect*, 15/06/2020. [Online] Available at: architect.com/news/article/150202633/leaders-of-the-school-of-architecture-at-taliesin-and-cosanti-share-their-vision-for-the-future-of-organic-architecture [Accessed 21 March 2022].

Pacheco-Torgal, F., Ivanov, V. and Tsang, D. C. W. (2020), *Bio-Based Materials and Biotechnologies for Eco-efficient Construction*, Elsevier Science & Technology.

Page, M. J. et alii (2021), “The PRISMA 2020 statement – An updated guideline for reporting systematic reviews”, in *The BMJ*, vol. 372, n. 71. [Online] Available at: doi.org/10.1136/bmj.n71 [Accessed 21 March 2022].

Palahí, M. et alii (2020), *Investing in Nature as the true engine of our economy – A 10-point Action Plan for a Circular Bioeconomy of Wellbeing*, Knowledge to Action 02, European Forest Institute. [Online] Available at: doi.org/10.36333/k2a02 [Accessed 21 March 2022].

Perriccioli, M., Ruggiero, R. and Salka, M. (2021), “Ecologia e tecnologie digitali – L’architettura alla picco-

la scala come luogo di connessioni | Ecology and digital technologies – Small-scale architecture as a place of connections”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 10, pp. 36-45. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1032021 [Accessed 21 March 2022].

Pineda-Pinto, M., Frantzeskaki, N. and Nygaard, C. A. (2021), “The potential of nature-based solutions to deliver ecologically just cities – Lessons for research and urban planning from a systematic literature review”, in *Ambio*, vol. 51, pp. 167-182. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s13280-021-01553-7 [Accessed 21 March 2022].

Ramage, M. H., Burrige, H., Busse-Wicher, M., Fereday, G., Reynolds, T., Shah, D. U., Wu, G., Yu, L., Fleming, P., Densley-Tingley, D., Allwood, J., Dupree, P., Linden, P. F. and Scherman, O. (2017), “The wood from the trees – The use of timber in construction”, in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 68, part 1, pp. 333-359. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.107 [Accessed 21 March 2022].

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 21 March 2022].

Santos, R., Costa, A. A. and Grilo, A. (2017), “Bibliometric analysis and review of Building Information Modelling literature published between 2005 and 2015”, in *Automation in Construction*, vol. 80, pp. 118-136. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.autcon.2017.03.005 [Accessed 21 March 2022].

Sathre, R. and O’Connor, J. (2010), “Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution”, in *Environmental Science & Policy*, vol. 13, issue 2, pp. 104-114. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.envsci.2009.12.005 [Accessed 21 March 2022].

Scalisi, F. and Sposito, C. (2021), “Strategie e approcci ‘green’ – Un contributo dall’off-site e dall’upcycling dei container marittimi dismessi | ‘Green’ strategies and approaches – A contribution from the off-site and upcycling of discarded shipping containers”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 10, pp. 92-119. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/1092021 [Accessed 26 April 2022].

Scouse, A., Kelley, S. S., Liang, S. and Bergman, R. (2020), “Regional and net economic impacts of high-rise mass timber construction in Oregon”, in *Sustainable Cities and Society*, vol. 61, article 102154, pp. 1-9. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scs.2020.102154 [Accessed 21 March 2022].

Simon, H. A. (1996), *The sciences of the artificial*, MIT Press, Cambridge (MA).

Smil, V. (2012), *Harvesting the Biosphere – What We Have Taken from Nature*, MIT Press, Cambridge (MA).

Sposito, C. and Scalisi, F. (2019), “High-rise timber architecture – An opportunity for the sustainability of the built environment”, in De Giovanni, G. and Scalisi, F. (eds), *PRO-INNOVATION – Process, Production, Product*, Palermo University Press, Palermo, pp. 93-122. [Online] Available at: iris.unipa.it/handle/10447/372355 [Accessed 26 April 2022].

UN – United Nations (2019), *World Population Prospects 2019 – Highlights*. [Online] Available at: population.un.org/wpp/publications/files/wpp2019\_highlights.pdf [Accessed 21 March 2022].

van Eck, N. J. and Waltman, L. (2021), *VOSviewer Manual*. [Online] Available at: vosviewer.com/documentation/Manual\_VOSviewer\_1.6.8.pdf [Accessed 21 March 2022].

van Eck, N. J. and Waltman, L. (2010), “Software survey – VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping”, in *Scientometrics*, vol. 84, issue 2, pp. 523-538. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3 [Accessed 21 March 2022].

Vilutiene, T., Kalibatiene, D., Hosseini, M. R., Pellicer, E. and Zavadskas, E. K. (2019), “Building Information Modeling (BIM) for Structural Engineering – A Biblio-

metric Analysis of the Literature”, in *Advances in Civil Engineering*, vol. 2019, article ID 5290690, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.1155/2019/5290690 [Accessed 21 March 2022].

Yin, X., Liu, H., Chen, Y. and Al-Hussein, M. (2019), “Building information modelling for off-site construction – Review and future directions”, in *Automation in Construction*, vol. 101, pp. 72-91. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.010 [Accessed 21 March 2022].

Zalasiewicz, J., Waters, C. N., Williams, M. and Summerhayes, C. P. (eds) (2019), *The Anthropocene as a Geological Time Unit – A Guide to the Scientific Evidence and Current Debate*, Cambridge University Press. [Online] Available at: doi.org/10.1017/9781108621359 [Accessed 21 March 2022].

## AZIONI VERDI PER CITTÀ INNOVATIVE

### Il nuovo paesaggio agroalimentare

## GREEN ACTIONS FOR INNOVATIVE CITIES

### The new agri-food landscape

Emanuele Sommariva, Nicola Valentino Canessa, Giorgia Tucci

#### ABSTRACT

Il ruolo dei servizi ecosistemici è interconnesso con la crescente consapevolezza di finanziare interventi di ricerca e sviluppo sensibili alle infrastrutture verdi e alle strategie di urban greening, diventando uno dei componenti strutturali per la transizione ecologica delle agende urbane europee, in linea con gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile di Agenda 2030. I servizi ecosistemici costituiscono un nuovo parametro di valutazione delle infrastrutture verdi urbane e dei processi di rinaturalizzazione finalizzati anche a contrastare gli effetti del cambiamento climatico o a promuovere la conservazione, la resilienza e la biodiversità degli habitat naturali. Nello specifico, l'agricoltura urbana e gli orti comunitari giocano un ruolo importante, contribuendo a garantire diversi benefici socio-ecologici su base locale e a promuovere l'accesso a fonti alimentari sane, e a Km0. Al fine di incentivare buone pratiche all'interno dello scenario agri-urbano contemporaneo, il contributo delinea spunti sulla circolarità e sul riciclo degli scarti di tutta la filiera alimentare presenti nella ricerca Europea Creative Food Cycles.

The role of ecosystem services is interlinked with the growing awareness of research and development funding programmes sensitive to green infrastructure and urban greening strategies. They become one of the structural components for the ecological transition of European urban agendas, in line with the Sustainable Development Goals of Agenda 2030. Ecosystem services are a new parameter for the assessment of urban green infrastructure and re-naturalisation processes, which also aim to counteract the effects of climate change (i.e., flooding, heat islands), or to promote the conservation, resilience and biodiversity of natural habitats. Specifically, urban agriculture and community gardens play an important role, helping to secure various socio-ecological benefits on a local basis and to promote access to healthy, Zero Km sources. In order to encourage good practices within the contemporary agro-urban scenario, the contribution outlines novel ideas on circularity and recycling of waste from across the food chain from the European project Creative Food Cycles.

#### KEYWORDS

strategie resilienti, città sostenibili, paesaggio agroalimentare, innovazione verde, cicli alimentari

resilient strategies, sustainable cities, agri-food landscape, green innovation, food cycles

**Emanuele Sommariva**, Architect and PhD, is a Researcher in Urban Design and Planning at the Department of Architecture and Design of the University of Genoa (Italy). He carries out research on the evolution of productive landscapes and regional foodsheds, ecological resilience and urban-rural interfaces. E-mail: emanuele.sommariva@unige.it

**Nicola Valentino Canessa**, Architect and PhD, is a Researcher in Urban Design and Planning at the Department of Architecture and Design, University of Genoa (Italy). He carries out research on the topics of new technologies for urbanism and territories in transition and urbanization phenomena. E-mail: nicolavalentino.canessa@unige.it

**Giorgia Tucci**, Architect and PhD, is a Research Fellow at the Department of Architecture and Design of the University of Genoa (Italy). He carries out research on the topics of agriculture and territorial planning, sustainable urban metabolism, circular economy and design. E-mail: giorgia.tucci@unige.it

Negli ultimi decenni si è ampiamente affermato il concetto di 'servizio ecosistemico' (MEA, 2005), inteso come la molteplicità di valori e funzioni socio-ecologiche espletate dalla presenza di aree naturali in un contesto urbanizzato. Il ruolo dei servizi ecosistemici è di fondamentale importanza, poiché direttamente o indirettamente, influenzano e sostengono la vita ed il benessere umano in termini di salute, accesso alle risorse primarie e sostentamento. I servizi ecosistemici, infatti, sono fortemente interconnessi con la crescente consapevolezza di finanziare interventi di ricerca e sviluppo sensibili alle infrastrutture verdi e alle strategie di rinaturalizzazione o di urban greening. Questi interventi sono inseriti nei processi di ricerca e finanziamento europei legati all'ambito *Founding for Cities*, a volte con filoni più legati anche a un'operatività diretta come i bandi LIFE e Horizon, altre volte più a ricerca e disseminazione come i Programmi Erasmus+ e Creative Europe.<sup>1</sup>

Il controllo della qualità e della riproduzione dei servizi ecosistemi è diventato un elemento centrale per la valorizzazione non solo delle aree naturali, ma anche dei sistemi del verde urbano. I servizi ecosistemici sono infatti capaci di contrastare non solo l'inquinamento atmosferico e il cambiamento climatico, ma di attivare processi a favore della biodiversità e degli habitat naturali anche in contesti costruiti; possono rinvigorire contesti ambientalmente impoveriti, diventando un valido mezzo di compensazione e mitigazione degli impatti generati dall'urbanizzazione del territorio, adeguato a innescare la formazione di ecosistemi semi-naturali in territori densamente abitati (European Commission, 2013). I riconosciuti benefici dei servizi ecosistemici e delle infrastrutture verdi e blu (Figg. 1-3) sono diventati uno strumento centrale nella progettazione e pianificazione urbana, per accrescere non solo il valore ambientale ed ecologico di un contesto, ma anche il benessere psicologico, l'aggregazione sociale, i servizi e la qualità della vita delle comunità locali (Farina, Scozzafava and Napoletano, 2007; Costanza, Norton and Haskell, 1992; TEEB, 2011). In tal senso, la riforestazione urbana rappresenta un programma sperimentale che coniuga lo sviluppo di servizi ecosistemici e pratiche di silvicoltura nelle aree urbane e periurbane, quale obiettivo per la transizione ecologica delle agende urbane europee, in linea con gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile di Agenda 2030 (UN, 2015).

Si delinea una nuova area di applicabilità per le infrastrutture verdi e il loro contributo al metabolismo urbano, passando da un mero approccio di monitoraggio/valutazione ex-post ad un metodo di pianificazione ex-ante, in grado di costruire scenari alternativi in base a condizioni sito-specifiche, agli spazi d'interazione sociale e alla multifunzionalità d'uso e di funzioni (Tillie, 2014; Sommariva and Sposito 2021). La rilevanza di questo nuovo approccio basato sulle performance eco-ambientali delle infrastrutture verdi è riconosciuta a livello globale: nelle aree urbane, esse portano benefici per la salute pubblica come il miglioramento della qualità dell'aria, delle falde acquifere e contemporaneamente rafforzano il senso di comunità e la cura del verde, consolidano i legami con azioni civiche volontarie contrastando l'isolamento sociale (Benedict and Mc-

Mahon, 2006). Un ruolo particolare in questo quadro è rappresentato dall'agricoltura urbana e dalle pratiche ortive comunitarie ad essa connesse, per il particolare contributo che queste forniscono sul piano dei benefici socio-ecologici su base locale, come l'accesso a fonti alimentari sane, coltivate a Km0, e sotto il profilo della sensibilizzazione sui temi della sostenibilità ambientale.

Nel contesto di questo articolo, un'attenzione particolare è data allo sviluppo di sistemi alimentari resilienti intesi come parte integrante del 'diritto alla città' (Lefebvre, 1968). Sulla stessa base Pothukuchi e Kaufman (1999) sostenevano che i sistemi alimentari hanno bisogno di un ruolo più importante nel dibattito dei pianificatori e dei progettisti urbani, per migliorare gli effetti spaziali e la distribuzione delle infrastrutture verdi con una visione più integrata e orientata alle comunità. Comprendere queste interazioni tra ambienti fisici come diversi insiemi dei cicli di vita dinamici (che collegano beni, persone, energia, cibo, informazioni, acqua, sedimenti, aria, mobilità, ecc.) significa superare l'ontologia relazionale di Città-in-Natura, Paesaggi Urbani e il dualismo dialettico di Città e Paesaggio, Spazio e Società (Heynen, Kaika and Swyngedouw, 2005; Gausa, 2020).

Il passo successivo è quello di comprendere come i sistemi agro-culturali possano intercettare gli spazi, gli attori, le risorse e le dinamiche presenti in una città, passando da un modello alimentare 'take-consume-dispose' (Pollan, 2006) verso un nuovo sistema integrato agro-urbano, in cui si combinano funzioni produttive sostenibili e multi-scalari a basso impatto (sia in termini di input che di output). La ricerca, di seguito illustrata, ha analizzato e proposto alcune soluzioni per spazializzare la relazione tra la domanda alimentare urbana e l'uso del territorio al fine di definire nuovi paesaggi produttivi. I termini 'land-links', 'land grids' ed 'eco-streams' (Gausa et alii, 2008) diventano paradigmatici di una concezione performativa del paesaggio come infrastruttura, per esplorare i livelli di interdipendenza dei 'bacini alimentari regionali' (Hedden, 1929; Getz, 1991; Kloppenburg, Hendrickson and Stevenson, 1996; Sommariva, 2014) e la domanda di cibo di una certa popolazione.

Nell'ambito del progetto europeo Creative Food Cycles (CFC), condotto nel triennio 2018-20 dalla Leibniz Universität di Hannover (LUH), dall'Università di Genova (UniGe) e dall'Institute for Advanced Architecture of Catalonia (IAAC), finanziato dal Programma Creative Europe (Fig. 4), sono stati esplorati ambiti di sinergia interdisciplinare intorno al concetto di Metabolismo Urbano legato al cibo, inteso come paradigma operativo di metodologie 'research-by-design' in grado di implementare servizi ecosistemici, pratiche di progettazione puntuale e dati di pianificazione strategica, per dare forma alla governance delle trasformazioni socio-spaziali dei territori produttivi urbani e peri-urbani. Affrontando i cicli alimentari in modo olistico, i partner<sup>2</sup> del progetto CFC hanno esplorato un metodo di ricerca qualitativo combinato che considera l'intero ciclo di vita del processo agroalimentare. Lo studio esplora impatti sociali, dimensioni spaziali e nuovi modelli di co-produzione (agricoltura urbana, agricoltura sui tetti, inverdimento urbano) dei bacini alimentari regionali, determinan-

do i caratteri dei paesaggi operativi (corridoi verdi, bio-riserve urbane, ecotoni). Nuovi approcci creativi alla co-progettazione attraverso il coinvolgimento di più stakeholder e la partecipazione dei cittadini affrontano la complessità dei legami urbano-rurali per favorire percorsi efficaci e la consapevolezza verso il New Green Deal (European Commission, 2019).

**Città e agricoltura** | L'evoluzione delle nostre città ha prodotto in Europa e nelle regioni mediterranee un complesso insieme di sfide e temi di ricerca che vanno oltre le tradizionali relazioni città-paesaggio, paesaggio-natura e natura-città. Parti consistenti del lavoro nelle discipline urbane e nelle scienze del territorio sono state dedicate a reinterpretare la tassonomia degli spazi aperti (uso del suolo, funzioni, luoghi, biota, variazioni) strettamente legati alla produzione agricola e come questi possano diventare elementi (ri)generativi per definire nuovi paradigmi nella costruzione delle forme urbane. Tutto ciò per passare da una lettura dicotomica tradizionale tra città e campagna ad una visione integrata e sistemica. Le regioni periurbane in particolare, assumendo un ruolo ecologico e proattivo, grazie alle funzioni produttive associate alle eco-strutture ambientali, presuppongono un nuovo tipo di approccio al governo del territorio (Sonnino, 2019). Nuovi strumenti sono richiesti per l'interpretazione di spazi 'infra-strutturali' o di spazi 'rur-urbani', attraverso la combinazione di attività primarie e terziarie: produzioni agricole e tecnologiche, sensibilità ambientali e attrazioni turistiche, spazi privati e spazi pubblici, ecc.

Il settore dell'agricoltura rappresenta uno degli usi di suolo più intensivi, ma anche quello a cui siamo più comunemente abituati. Questo uso ha determinato una profonda manipolazione del paesaggio che, tuttavia, rappresenta oggi una componente essenziale per la conservazione e l'efficienza produttiva legate alle dinamiche metaboliche urbane anche secondo il Water, Food and Energy Nexus<sup>3</sup> (Caputo et alii, 2021). Lungo l'Arco Latino (Spagna, Francia e Italia) l'agricoltura ricopre generalmente una media dal 35% al 65% della superficie geografica nella quale trova occupazione solo dall'1% al 5% della popolazione insediata (European Commission, 2013). Pertanto è fondamentale ripensare gli spazi agricoli non più unicamente per la loro funzione primaria, ma come spazi in grado di assolvere a diverse capacità potenziali (infrastrutture verdi, corridoi ecologici, matrici naturali, paesaggi del benessere e del tempo libero, scenari produttivi innovativi, ospitalità agrituristica, ecc.) e favorire una comprensione del paesaggio come 'sistema di ecosistemi'. Questi sistemi si rifanno alla resilienza ecologica delle componenti agroalimentari a fine di corrispondere a molteplici richieste urbane, verso una nuova dimensione tecnologica e operativa, legata a processi di 'smart landscapes' o 'advanced landscapes' (Gausa, 2020; Canessa, 2021) che guardano a sistemi più integrati tra uomo, ambiente e tecnologia.

In questo contesto 'intelligente' (Fig. 5), l'agricoltura multifunzionale può contribuire non solo a promuovere forme di alimentazione più sane e sostenibili, ma anche all'ottimizzazione della raccolta di dati territoriali, alla diversificazione dell'offerta e alla creazione di catene di valore, con



l'obiettivo di migliorare la gestione delle risposte ambientali e rendere i contesti urbanizzati meno vulnerabili a dinamiche di trasformazione erosiva. Tra le ipotesi di studio formulabili intorno al grado di applicabilità e d'interazione tra le scienze ambientali, agronomiche e del progetto, nel contesto del cibo come 'materiale urbano', emergono tre possibili campi di ricerca-azione fondati sui seguenti quesiti:

- 1) In che misura l'agricoltura urbana può diventare forma e struttura della città, considerando le nuove possibilità tecnologiche (sistemi di coltivazione idroponiche, di produzione verticale e di auto-produzione indoor) al fine di esplorare filiere alimentari alternative e pattern di rinaturalizzazione anche in contesti densamente abitati?
- 2) Come possono essere ripensati i diversi 'paesaggi intermedi' (residenziali, commerciali, logistici, dello svago, del lavoro, dello scambio, ecc.) che caratterizzano lo sprawl urbano a scala territoriale e quali interazioni possono sussistere tra questi ambiti e i loro utenti?
- 3) Come riformulare il cibo quale 'forma di processo' culturale e di invenzione creativa prodotto dalla relazione tra spazio e società, ma anche quale 'materia organica in trasformazione' che passa da un ciclo di vita completo fino alla valorizzazione del suo scarto e la sperimentazione di nuovi biomateriali?

I gruppi di ricerca del progetto Creative Food Cycles hanno cercato di rispondere a queste sfide focalizzando il proprio contributo rispetto alle diverse expertise messe in campo, che comprendono la fabbricazione digitale, l'innovazione tecnologica, l'analisi del metabolismo urbano e i bacini alimentari regionali, le strategie di co-design e l'innovazione sociale con le comunità. Sino ad oggi le diverse valutazioni dell' 'impronta alimentare urbana' hanno avuto la tendenza a concentrarsi su come le città potrebbero diventare più autosufficienti nel soddisfare le proprie domande di approvvigionamento attraverso una maggiore disponibilità di prodotti.

Tuttavia il cambiamento di paradigma relativo al cibo come bene di consumo, capace di plasmare sempre più gli assetti organizzativi e di filiera, riguarda una serie di fattori che vanno oltre il mero soddisfacimento di un bisogno primario. Temi come la sostenibilità economica, gli impatti ambientali, gli aspetti nutrizionali, la sicurezza sanitaria e la giustizia territoriale diventano ambiti di ricerca e progetto anche da parte di urbanisti, architetti e designer che devono adeguare linguaggi e strumenti di lavoro per incidere sullo spazio e sulla consapevolezza pubblica. La mancanza di disponibilità di cibo fresco e di qualità, ma anche il passaggio dalle piccole produzioni alle agro-industrie internazionali, ha portato a una perdita di rapporto tra produttori e consumatori e ha sollevato preoccupazioni in termini di salute umana, degrado ambientale e benessere animale.

**Dalle Urban Food Strategies ai Creative Food Cycles** | Tenuto conto del riposizionamento strutturale delle aree urbane nel mercato globale del cibo, è cruciale comprendere gli accordi socio-spaziali definiti da una geometria variabile di imprese locali, produttori diretti, gruppi di consumatori, modelli cooperativi o altre contaminazioni creative trasversali. Le città sono infatti campi

d'azione cardine e arene culturali in cui i movimenti di opposizione al sistema alimentare sono più evidenti, attraverso vari fenomeni. Durante gli anni '70, sono emersi intorno a questi temi diversi Movimenti Alimentari (FM), che riunivano l'attivismo locale e le campagne verdi contro la standardizzazione delle offerte alimentari nella società urbana contemporanea (Holt-Giménez, 2011).

Più recentemente, accanto alle azioni verdi di 'guerriglia urbana' e a forme simili di reazione attivate dalla società civile, i produttori locali stanno sperimentando l'interconnessione con le politiche alimentari urbane, in cui le città si configurano come nuovi attori internazionali nei sistemi di produzione alimentare. La grande novità di questo approccio, sito specifico e settoriale allo stesso tempo, è rappresentata dalla promozione di vere e proprie strategie alimentari integrate su spazi urbani sottoutilizzati (Moragues et alii, 2013). Queste strategie affrontano un approccio multisettoriale, caratterizzato da una lettura olistica delle filiere, dei sistemi alimentari e dei benefici ambientali per scelte alimentari a basso impatto. Il dibattito internazionale individua alcune realtà pioniere, come le grandi aree urbane nordamericane, in primo luogo Toronto. Successivamente, il fenomeno si è diffuso a Londra e nelle piccole e medie città del Regno Unito attraverso le reti denominate Sustainable Food Places<sup>4</sup> così come in Nord Europa.

Negli ultimi anni anche i Paesi del Sud Europa, come la Grecia, la Spagna e l'Italia, stanno cominciando a realizzare processi partecipati di food policy. Milano è la prima città italiana ad aver approvato una politica urbana del cibo, ma anche la Città Metropolitana di Torino ha lanciato un programma multi-scalare legato al cibo (Atlante del Cibo di Torino Metropolitana<sup>5</sup>) con l'obiettivo di costruire uno strumento di supporto per le future politiche del territorio. Il comune denominatore delle strategie urbane del cibo è certamente l'approccio sistemico, che si traduce in politiche tese a integrare e connettere attori, risorse e strumenti all'interno dei processi di decisione politica.

È in questo contesto volto ad ampliare le nozioni di sostenibilità, risorsa e riciclo che il team UniGe-GICLab<sup>6</sup> ha mosso le attività d'indagine e ricerca rispetto al progetto Creative Food Cycles, partendo da quattro letture urbanistiche legate al rapporto tra agricoltura, città e territorio, già sviluppate nella ricerca Cr(Eat)ing City (Sommariva, 2014). Quattro ambiti tematici sono stati analizzati quali contesti d'intervento per indagare i caratteri e i ruoli dell'agricoltura urbana: metropoli, eco-distretti, parchi e riciclo. Il punto di partenza è stato lo studio dei processi virtuosi in atto nelle grandi aree metropolitane, come a New York che sta riorganizzando il suo piano di gestione del territorio (PlaNYC) attuando interventi di rigenerazione urbana di vaste aree sottoutilizzate. Questo programma a lungo termine combina strategie guidate dalla comunità mescolate a forme procedurali di azioni di greening in co-gestione basate sul riuso agricolo degli spazi urbani, poiché uno dei fattori di cambiamento globale è senza dubbio il fenomeno dell'urbanesimo della società e l'impatto che esso determina con il Pianeta e le sue risorse.

L'inurbamento, a seguito del rapido movimento dei flussi di capitale, ridefinisce nuove geo-

grafie urbane dirompenti e conflittuali, come in Cina e in America Latina, o pervasive, come in Europa e negli Stati Uniti. Allo stesso tempo, la domanda di cibo, come quella di altre risorse strumentali alla concentrazione delle popolazioni, sta assumendo caratteri di sostenibilità produttiva anche in aree eminentemente urbane. Più di 800 milioni di persone (circa il 7,5% della popolazione mondiale) sono impegnate in pratiche diversificate legate al settore agro-urbano (Steel, 2011). Nel corso dell'ultimo decennio, ad esempio, le città di Hong Kong, Singapore e Taiwan hanno prodotto per autoconsumo all'interno dei propri confini amministrativi ben oltre il 65% di pollame, il 16% di maiali e il 45% di ortaggi; studi recenti dimostrano come negli Stati Uniti oltre un terzo della produzione agricola di valore si trova all'interno delle cosiddette Metropolitan Statistical Area, mentre perfino nelle zone più densamente popolate del mondo trova spazio una produzione intensiva di cibo per favorire i diversi mercati locali: la Randstad olandese, in questo senso, può essere l'esempio più evidente di co-nurbazione verde.

A Monaco di Baviera i programmi di sviluppo urbano stanno privilegiando azioni locali volte alla realizzazione di eco-distretti ad alta efficienza energetica, che sappiano anche reintegrare le qualità della vita in campagna lungo le frange più periferiche. Con il progetto Agropolis München (Fig. 6), la città testa nel quartiere di Freiam un progetto di parco agricolo in transizione dove l'agricoltura urbana diventa dispositivo per definire i diversi usi del suolo e prefigurare strategie di mitigazione agro-ambientali delle nuove residenze sociali, coniugando la gestione dello spazio pubblico con pratiche di eco-innovazione (Schröder et alii, 2009). Un caso quello tedesco precursore di reti di città Europee che stanno sempre più adottando strategie multi-livello per le politiche alimentari, connettendo in un unico quadro la qualità dell'ambiente urbano alla riduzione del tasso d'inquinamento, la mobilità alternativa, la tutela delle aree verdi e la sicurezza alimentare.

L'enfasi sulla progettazione e pianificazione sostenibile si concretizza attraverso programmi a tutte le scale d'intervento, come il LEED (che raccomanda direttive ambientali standard per progetti di edilizia sostenibile) e il LEED for Cities, che dal 2016 ha iniziato a estendere le certificazioni di sostenibilità agli insediamenti urbani (premiando nel 2018 la città di Savona, in Liguria, come prima città LEED oro in Europa). Tra gli altri è degno di nota il programma dell'US Green Building Council per il Green Business Certification (GBCI), che ha contribuito a favorire la connessione tra cibo e questioni ecologiche negli USA, estendendo il rapporto tra forma e funzioni architettoniche. In molti contesti, questo ha portato ad un'apertura concettuale delle tipologie edilizie tradizionali e degli ambienti domestici o di altri spazi di intermediazione sociale e di servizio per il quartiere (scuole, palestre, biblioteche, centri commerciali, ecc.) verso l'urbanistica legata al cibo e ai principi di transizione ecologica applicati al progetto. Le politiche urbane assumono così un ruolo di guida insieme ad azioni volte alla partecipazione sociale e alla co-progettazione con gli utenti, contribuendo a definire un significato più profondo della rigenerazione urba-



Figg. 1-3 | Photomontages: High Line and Memory, Genoa High-Line, Cheonggyecheon river (credits: N. V. Canessa, 2021).

na, capace di catalizzare risorse territoriali e produrre nuove interazioni alla scala di dettaglio.

D'altro canto i processi di consumo del suolo hanno fatto emergere un maggiore attaccamento da parte delle comunità al proprio territorio, così come un nuovo bisogno di tutela per la campagna (Donadieu, 1998). Esiste una forte domanda di paesaggio qualificato che corrisponde a immagini mentali diversificate. Oggi sempre di più nei desideri collettivi l'ambiente rurale si sostituisce allo spazio verde del giardino o del parco pubblico (Pileri, 2006), quale contesto per la libera interazione con la natura, così come luogo dello sport, del tempo libero, del relax e delle passeggiate, come evidenziato anche da diversi sondaggi, tra cui quello commissionato da Es-sity<sup>7</sup> (The Green Response Survey 2021) in undici Paesi europei sulle conseguenze della pandemia e sui comportamenti dei consumatori rispetto alla sostenibilità, alla percezione degli spazi naturali e alla necessità di autosufficienza.

Contemporaneamente si sta delineando un nuovo modello di parco agricolo che supera la visione vincolistica dell'area protetta, tipica del parco naturalistico, per definire modalità integrate di progetto in cui attori istituzionali e produttori collaborano per la definizione di forme pattizie o anche di azioni di partenariato con i vari soggetti locali per la valorizzazione dei contesti periurbani. Numerosi esempi di questo tipo sono visibili già in diversi progetti di 'rur-urbanizzazione' (Donadieu and Fleury 2003) promossi in Francia, nelle vigne di Montmartre, nei parchi agricoli urbani del Bercy, negli orti in concessione del parco Sud di Milano, nelle colline del Chianti o su quelle napoletane di San Martino. Questo sta accadendo anche nelle campagne salentine, in cui i diversi sistemi agro-paesistici esistenti vengono connotati da processi di riorganizzazione territoriale di notevole portata ecologica, così come delineato anche nel Piano Territoriale di Coor-

dinamento della Provincia di Lecce con lo slogan 'Salento come Parco' (Viganò and Secchi, 2001).

Spesso però i cittadini non sanno che luoghi di piccola produzione agricola possono trovare spazio all'interno del tessuto urbano consolidato, in aree residuali, o anche su terrazze, in cortili, in spazi lasciati liberi da precedenti funzioni, reinterpretando il paesaggio metropolitano come un sistema che può anche produrre cibo. Gli spazi urbani, infatti, se opportunamente riadattati possono offrire notevoli potenzialità nei processi di recupero e nelle trasformazioni qualitative verso una fondata consapevolezza ambientale (Morgan and Sonnino, 2010). Se riciclare significa rimettere in circolo i rifiuti dandogli nuovo significato e valore, allora il tema del riuso può coincidere anche con la costruzione di nuovi cicli di vita per contesti degradati o inquinati. Questo significa ripensare il loro potenziale ecologico inespresso, così come il modo in cui le comunità percepiscono tali spazi, attivando azioni co-partecipative, che superino il concetto statico di zonizzazione urbana a favore di una visione progettuale orientata al processo, in grado di integrare produzione di qualità e riattivazione di interventi a piccola scala.

Negli anni, il GICLab ha affrontato questi temi con progetti di ricerca specifici come AC+ Agri-culture, Agro-cities (Gausa, Navarro and Canessa, 2014) e MedCoast AgroCities (Tucci, 2020), incentrati sulle modifiche di uso del suolo e sulle tendenze relative agli spazi agricoli periurbani, ma anche sulle potenzialità di riuso dei rifiuti prodotti dal settore agricolo per valorizzare l'approccio del riciclo anche come strumento di innovazione della pianificazione territoriale; a queste ricerche si aggiungono le sperimentazioni internazionali di progetti di rinaturalizzazione urbana e di rifunzionalizzazione dei contesti periurbani. Tra gli altri, il Piano per il Parco Agricolo

del Llobregat (Figg. 7-9) commissionato dalla Regione di Barcellona e parte delle visioni strategiche della Città Metropolitana di Barcellona per l'utilizzo delle potenzialità agricole del parco; lo studio eco-infrastrutturale della città di Seoul (Fig. 10) per la riduzione dell'impronta urbana attraverso processi di rinaturalizzazione estensiva e sistemi di bonifica agro-ecologica; le linee guida per Albenga GlassCity (Tucci, 2018) sulla sperimentazione d'uso di bio-materiali derivati da scarti agricoli direttamente nelle filiere di produzione in serra; infine, il progetto strategico per i Green Rings di Odessa (Fig. 11) a seguito dell'accordo tra la Città di Odessa e l'Università di Genova, che propone interventi di greening urbano sia per aree urbane consolidate che per frange periferiche.

In questa direzione, il progetto di cooperazione internazionale Creative Food Cycles (CFC) è la principale tappa del team UNIGE-GICLab a riguardo dei diversi studi su Cibo-Città-Territorio e in particolare sulla riduzione dei rifiuti agricoli e alimentari attraverso processi di co-design creativo. Il lavoro mira, da un lato, a testare nuovi prodotti e materiali derivati dagli scarti alimentari e a organizzare eventi creativi, dall'altro, a sensibilizzare l'opinione pubblica sull'impatto dei cicli alimentari nelle nostre città. Il progetto CFC si articola sull'individuazione di buone pratiche internazionali con uno spettro d'indagine che va dalla scala urbana a quella del progetto architettonico, fino al design del prodotto, per analizzare l'impatto sociale di questo cambio di paradigma riferito al cibo. La sperimentazione relativa agli scarti di lavorazione dalla filiera agricola è un ulteriore ambito di studio che può mostrare quanto le comunità scientifiche e creative stiano già lavorando su questi temi.

Un altro importante obiettivo del progetto è l'identificazione di metodi efficaci di rappresentazione, comunicazione e creazione di conoscen-

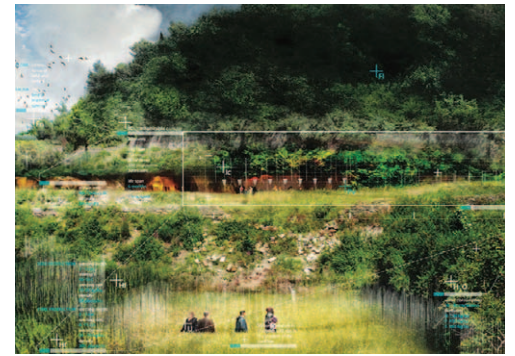
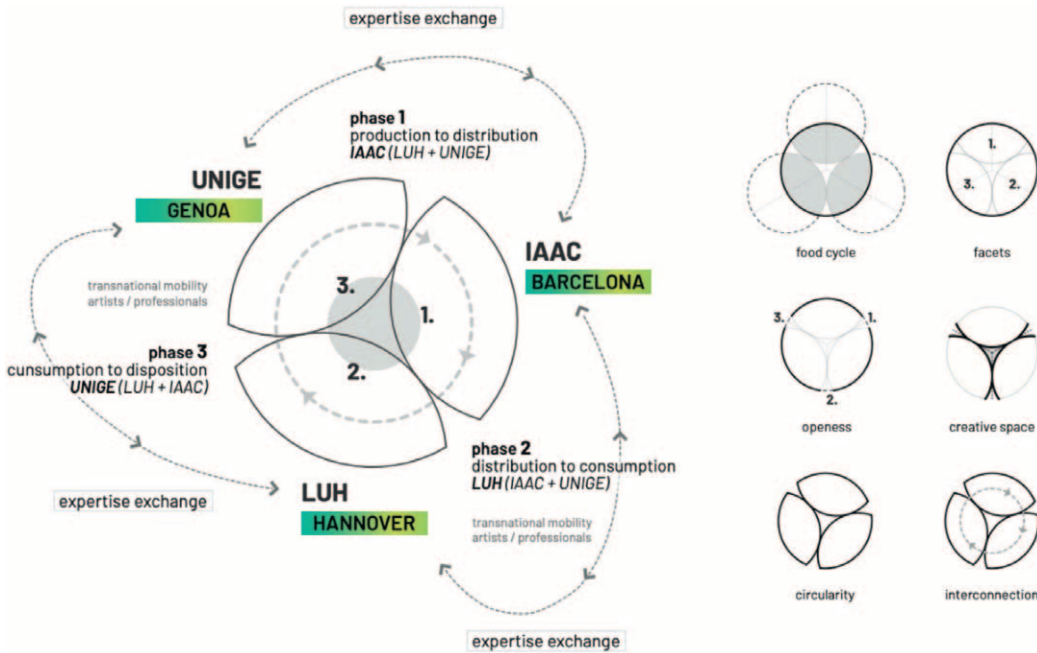


Fig. 4 | Creative Food Cycles: Stages of the food cycle and partners, international trade (credit: CFC, 2019).

Fig. 5 | 'Tra natura e territorio': Natural contexts and Big Data artificial environments (credits: IAAC, 2012-2014).

za degli esperimenti e delle installazioni prodotte, che possano essere combinati o prototipati per un uso non industriale. In tale ottica, il progetto si rivolge principalmente alla formazione e all'educazione come priorità per lo sviluppo di nuove expertise per i professionisti nel campo dell'architettura e del design, al fine di ampliare i momenti di scambio internazionale, il dibattito pubblico, la divulgazione scientifica e la co-creazione, attraverso un approccio creativo basato sul progetto di design. (Florida, 2002) In questo quadro, il saggio presenta sinteticamente la struttura metodologica della ricerca CFC, illustrando le diverse fasi e il programma di lavoro, i materiali prodotti e la rete di relazioni tra enti di ricerca, città partner e ospitanti. Per quanto riguarda le ulteriori implementazioni dello studio, l'occasione è quella di aprire nuove prospettive di ricerca sull'economia circolare con particolare attenzione ai cicli alimentari e al loro impatto nelle nostre città.

**Metodologia, fasi e strumenti** | La ricerca CFC si è strutturata in tre fasi, con metodi e strumenti d'indagine differenti a seconda dei casi. Il primo step legato alle Food Interactions (Schröder, Sommariva and Sposito, 2020) è un avviso pubblico a contribuire alla creazione di un database aperto di buone pratiche, già esistenti a livello internazionale, con l'obiettivo di esplorare processi innovativi e strategie progettuali che vedono il 'cibo' quale principale elemento d'ideazione. I progetti ricevuti spaziano in un repertorio architettonico eterogeneo e raccolgono esempi di infrastrutture pubbliche (mercati, poli museali, centri artistici, cucine mobili) e sistemi innovativi di produzioni adattive (pensiline, moduli di facciate, compound, hobby farming) fino a prodotti di eco-design (arredi urbani, oggettistica, nuovi materiali).

Il secondo step sui Food Crossovers è incentrato su una metodologia 'research-by-design' che ha visto il coinvolgimento di ricercatori, professionisti, attori economici e stakeholder locali delle città partner (Barcellona, Hannover e Genova) attraverso tre workshop tematici, intesi come laboratori aperti di co-creazione per poten-

ziare le competenze tecniche necessarie a sviluppare concept innovativi. Si è voluto testare alcune esperienze collezionate nel catalogo e intervistare i soggetti che le hanno realizzate, ma soprattutto sperimentare anche nuove combinazioni, produzioni e materiali individuando un progetto pilota da realizzare in scala 1:1 nella fase successiva. Questa fase è centrale nella struttura metodologica del progetto per due motivi: da un lato, per il valore scientifico di ricerca-azione basata su tipi di audience differenti in un ambiente di lavoro inclusivo e intergenerazionale, dall'altro, per il carattere sperimentale e innovativo dei risultati raggiunti, sia dal punto di vista dei processi produttivi sia per le componenti di design facilmente replicabili in un laboratorio di fabbricazione.

La terza fase denominata Food Cycles in Action (Pericu et alii, 2021) vede il coinvolgimento di un pubblico più ampio e una rete di città per ospitare la mostra itinerante del progetto, che presenta i risultati raccolti in parallelo a conferenze di disseminazione accademica ed eventi pubblici sul cibo come mezzo culturale e di design. Questa fase ha riscontrato un grande successo per la profonda interazione con diverse tipologie di pubblico e per eventi e attività programmate quali: lo sviluppo di tre installazioni artistiche, volte a connettere le azioni di design sviluppate nei workshop meta-progettuali con gruppi artistici locali; la partecipazione all'edizione 2020 della Future Architecture Fair di Ljubljana presso il Museo MAC, quale luogo d'incontro di architetti e designer di tutta Europa; una serie di webinar online e seminari tematici nelle città ospitanti (Patrasso, Anversa, Porto, Londra); un simposio internazionale per aprire a un ampio dibattito accademico sul rapporto Cibo-Creatività-Innovazione con esperti internazionali selezionati; un festival internazionale conclusivo, volto a esplorare gli aspetti conviviali e performativi dei prodotti di eco-design in una scena teatralmente compiuta, frutto della messa a sistema delle installazioni sul tema della valorizzazione dello scarto alimentare, offrendo nuovi usi potenziali per i bio-materiali rispetto a campi di applicazio-

ne quali moda, fotografia, rappresentazione, comunicazione, cucina, sartoria creativa, scultura e design del prodotto.

Ogni azione del progetto è stata rafforzata dalla promozione di call for project dedicate (alcune aperte e pubblicizzate su portali web e attraverso i canali di comunicazione degli Ordini professionali, altre su invito) finalizzate allo sviluppo di azioni d'innovazione sociale e progetti specifici. Ciò è stato perseguito al fine di promuovere la più ampia partecipazione possibile di professionisti ed Enti locali ad approfondire, con la cittadinanza attiva, formule di sperimentazione condivisa di pratiche quotidiane scalabili alla dimensione europea. In particolare le call for projects sono state intese come strumenti propedeutici a raccogliere idee sul tema del cibo come 'materiale di progetto', ma anche per permettere la creazione di una rete di proposte con un alto livello di innovazione, diffuse attraverso documenti aperti al pubblico.

Durante il periodo pandemico della primavera 2020 sono stati testati altri strumenti, come i webinar online, dove ai partecipanti è stato chiesto di assumere un ruolo attivo e di sperimentare materiali derivati dai rifiuti alimentari in ambiente domestico. Per questo motivo, le tre unità di ricerca, pur confermando l'impostazione metodologica del progetto, hanno condiviso la sperimentazione di nuove pratiche d'interazione ipermediata con gli utenti di riferimento. Inoltre la diffusione online e la creazione di conoscenza sul progetto è stata esplorata attraverso sessioni di dibattito (world-café) e un cross-over su obiettivi, contenuti e metodi di lavoro. In questa direzione, il progetto CFC, in particolare con il contributo sviluppato dal team UniGe-GICLab, ha cercato, da un lato, di testare la progettazione di nuovi prodotti e materiali derivati dagli scarti alimentari all'interno di programmi educativi e, dall'altro, di organizzare eventi creativi per aumentare la consapevolezza dell'impatto dei cicli alimentari e dell'agricoltura nelle nostre città. Ulteriori campi di applicazione del progetto riguardano la filiera agricola, di distribuzione e della ristorazione, quali settori chiave con forti impatti sul

riciclo e sulla riduzione dei rifiuti urbani sia solidi che organici.

**Conclusioni** | Le principali azioni del progetto CFC presentate in questo saggio si concentrano su nuovi approcci al tema del cibo quale 'materiale urbano', riguardanti la sua trasformazione e reinterpretazione creativa, richiedendo un riconoscimento del contesto di sostenibilità economica e ambientale che fa riferimento a precise politiche comunitarie (obiettivi promossi dall'Agenda 2030, dal European Green Deal e dai Programmi di azione per l'ambiente pluriennali, PAA 2021-2030). Per quanto riguarda nello specifico l'innovazione socio-tecnologica si nota come la sostenibilità alimentare sia sempre più diffusa, quale campo d'indagine e acceleratore di processi di trasformazione. È necessario, infatti, considerare una risposta territoriale più ampia, in cui scenari di sviluppo siano costruiti sulla domanda alimentare globale e su come questa determini una profonda trasformazione delle aree naturali (il caso della riduzione della copertura vegetale in Amazzonia è noto a tutti) verso specializzazioni iper-agricole anche prossime a strutture meta-metropolitane.

Negli ultimi due decenni si è diffuso il fenomeno della riappropriazione degli spazi tra città e campagna, soprattutto da parte delle giovani generazioni (under 35), grazie all'avvio di processi agroalimentari innovativi e di nuove forme di abitare i territori rurali, affrontando diversi temi trasversali: dalle questioni demografiche a quelle ambientali, dalla salute all'approvvigionamento alimentare. Questa transizione agricola della città, non bucolica ma iper-funzionale e tecnologicamente avanzata, rinnova tutto il sistema, dalla progettazione degli spazi pubblici a quelli domestici, con nuove necessità e nuove opportunità.

Nello specifico, le attività svolte dal gruppo di ricerca dell'Università di Genova hanno tentato di fornire una riflessione non solo teorica, ma sperimentale, sull'emergenza alimentare e sulla necessità di promuovere processi più sostenibili per l'ambiente, legati al settore cibo (imballaggio, consumo, gestione dei rifiuti). L'output dello studio, sviluppato per circa tre anni (2018-21) e precedentemente descritto, è stato quello di creare prodotti reali e prototipi (Fig. 12; Tab. 1), trasformando i rifiuti alimentari in nuove risorse (es. nuovi biomateriali per l'imballaggio), al fine di porre l'attenzione sulle potenzialità del connubio riciclo e reinterpretazione creativa. Ad esempio, dagli scarti del caffè sono state realizzate ceramiche e vasi compostabili; con gli scarti del latte si è recuperata un'antica lavorazione per la realizzazione di finte madreperle; con l'uso di altri materiali di scarto (dalle lische di pesce ai gusci delle uova, dalla buccia di frutti ai gusci della frutta secca) si sono realizzati bio-materiali complementari alla prototipazione di prodotti, sempre con uno sguardo alla replicabilità e riproducibilità domestica dei processi. Ciò presuppone un ruolo attivo degli utenti di riferimento principali, designer, architetti, urbanisti e decisori politici attraverso format artistici e laboratori aperti di co-creazione, per sviluppare una cultura della sostenibilità e della rinaturalizzazione urbana (urban greening) il più condivisa possibile.

I prototipi realizzati hanno inoltre acquisito il

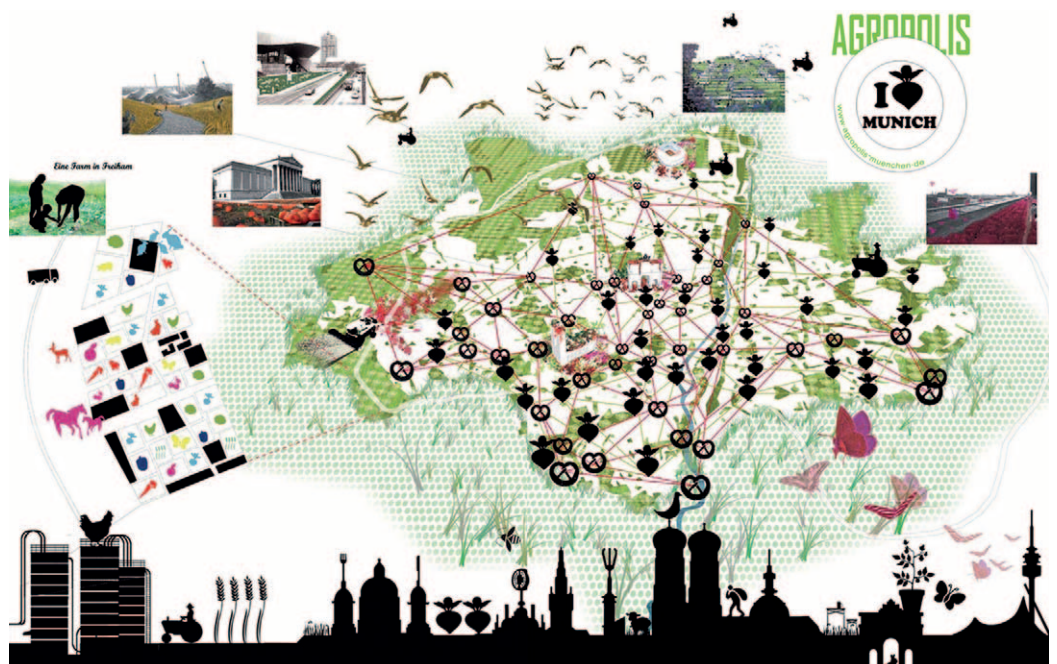
senso di piccoli dispositivi sperimentali al fine di esplorare la relazione tra la nostra alimentazione quotidiana e il modo in cui produciamo, consumiamo e ricicliamo nelle nostre città. In tal senso è possibile individuare un ambito di applicazione più esteso per le strategie di greening, che non implicino solo la gestione dello spazio verde urbano in senso formale, ma che interpretino processi funzionali necessari alla vita quotidiana (come l'approvvigionamento alimentare) verso nuove opportunità economiche, sociali e qualitative per il nostro habitat urbano. Per fare questo dobbiamo riferirci sempre più a nuovi paradigmi come quello dell'economia circolare in cui i rifiuti diventano nuovamente risorsa. Valorizzare il cibo significa coinvolgere la società urbana attiva, sviluppare un approccio culturale e olistico e stimolare, tramite l'esercizio della visione progettuale, un modello aperto e inclusivo di sinergia tra tutte le discipline scientifiche che si occupano dell'ambiente urbano e della sua trasformazione.

In recent decades, the concept of 'ecosystem services' (MEA, 2005), understood as the multiplicity of socio-ecological values and functions performed by the presence of natural areas in an urbanised context, has become widely established. The role of ecosystem services is of fundamental importance, as they directly or indirectly influence and support human life and well-being in terms of health, access to primary resources and livelihood. In fact, ecosystem services are strongly intertwined with the growing awareness of funding research and development interventions sensitive to green infrastructure and renaturation or urban greening strategies. These interventions are included in European research and funding processes related to Founding for Cities, sometimes with strands more related to direct operations such as the LIFE and Horizon

calls, other times more research and dissemination such as the Erasmus+ and Creative Europe programmes.<sup>1</sup>

Quality control and reproduction of ecosystem services have become a key-element for the enhancement of both natural and urban green systems. In fact, ecosystem services are capable not only of reducing atmospheric pollution and mitigating climate change but also of activating processes in favour of biodiversity and natural habitats, even in urbanised areas. They can revitalise environmentally impoverished contexts, becoming a good means of compensating and mitigating the impacts generated by the urbanisation of the territory; suitable for triggering the formation of semi-natural ecosystems in densely populated territories (European Commission, 2013). The recognised benefits of ecosystem services and green and blue infrastructure (Figg. 1-3) have become a central tool in urban design and planning practice, to enhance not only the environmental and ecological value of a context but also psychological well-being, social aggregation, services and quality of life for local communities (Farina, Scozzafava and Napoletano, 2007; Costanza, Norton and Haskell, 1992; TEEB, 2011). In this sense, urban reforestation represents an experimental programme that combines the development of ecosystem services and forestry practices in urban and peri-urban areas, as a goal for the ecological transition of European urban agendas, in line with the Sustainable Development Goals of Agenda 2030 (UN, 2015).

A new area of applicability for green infrastructures and their contribution to urban metabolism is emerging, moving from a mere ex-post monitoring/evaluation approach to an ex-ante planning method, able to build alternative scenarios based on site-specific conditions, social interaction spaces and multifunctionality of use and functions (Tillie, 2014; Sommariva and Sposito, 2021). The relevance of this new approach based on the eco-environmental performance of green



**Fig. 6** | 'Agropolis – Riscoprire il raccolto per la vita urbana quotidiana', designed by Schroeder, Baldauf, Deerenberg, Otto and Weigert: Winner project of the Open Scale 2009 competition, Munich (credit: Landrum, 2009).

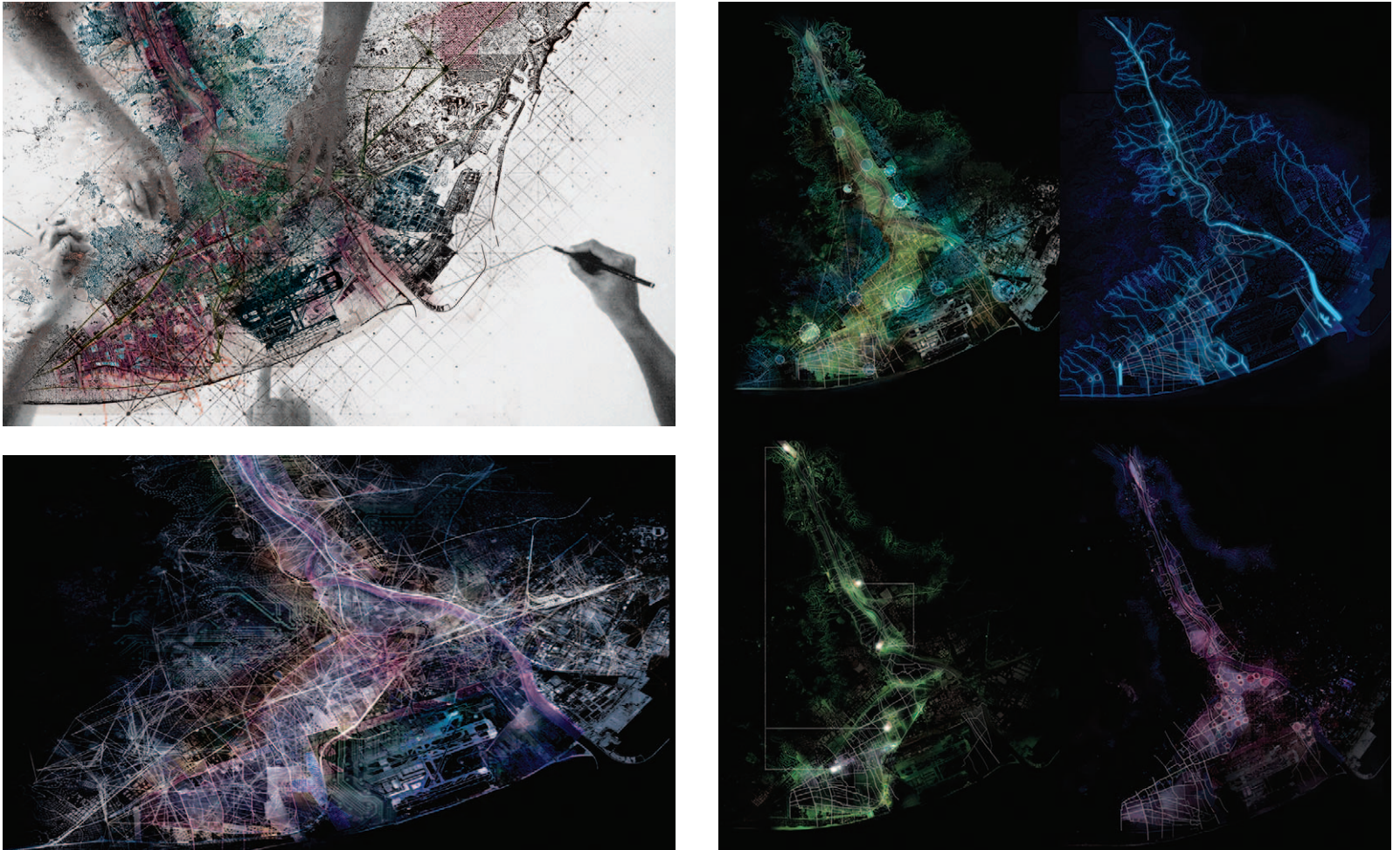


Fig. 7-9 | Parc Agrari del Baix Llobregat designed by Actar Architecture + GICLab UniGe: a park of parks, 2017-19 (credits: Gic Lab, 2019).

infrastructures is recognised globally: in urban areas, they bring public health benefits such as improved air quality, and groundwater quality, while strengthening the sense of community and green care, consolidating links with voluntary civic actions by counteracting social isolation (Benedict and McMahon, 2006). In this framework, a particular role is played by urban agriculture and related community gardening practices, because of the particular contribution they make in terms of socio-ecological benefits on a local basis, such as access to healthy, Km0 grown food sources, and in terms of raising awareness of environmental sustainability issues.

In the context of this paper, special attention is given to the development of resilient food systems as an integral part of the 'right to the city' (Lefebvre, 1968). On the same basis, Pothukuchi and Kaufman (1999) argued that food systems need a greater role in the debate of urban designers and planners, to improve the spatial effects and distribution of green infrastructures towards a more integrated and community-oriented vision. Understanding these interactions between physical environments as different sets of dynamic life cycles (linking goods, people, energy, food, information, water, sediment, air, mobility, etc.) means overcoming the relational ontology of City-in-Nature, Urban Landscapes and the dialectical dualism of City and Landscape, Space and Society (Heynen, Kaika and Swyngedouw, 2005; Gausa, 2020).

The next step is to understand how agricul-

tural systems can intercept the spaces, actors, resources and dynamics present in a city, moving from a 'take-consume-dispose' food model (Pollan, 2006) towards a new integrated agri-urban ecosystem, in which sustainable and multi-scalar production functions are combined with low impact (both in terms of inputs and outputs). The research set out hereafter has analysed and proposed some solutions to spatialise the relationship between urban food demand and land use to define new productive landscapes. The terms 'land-links', 'land grids' and 'eco-streams' (Gausa et alii, 2008) become paradigmatic of a performative conception of landscape as infrastructure, to explore the levels of the interdependence of 'regional foodsheds' (Hedden, 1929; Getz, 1991; Kloppenburg, Hendrickson and Stevenson, 1996; Sommariva, 2014) and the food demand of a certain population.

In the framework of the European project Creative Food Cycles (CFC), developed in 2018-20 by Leibniz Universität Hannover (LUH), the University of Genoa (UniGe) and the Institute for Advanced Architecture of Catalonia (IAAC) funded by the Creative Europe Programme (Fig. 4), areas of interdisciplinary synergy were explored around the concept of Urban Metabolism related to food, understood as an operational paradigm of 'research-by-design' methodologies capable of implementing ecosystem services, site-specific design practices and strategic planning data, to shape the governance of socio-spatial transformations of urban and peri-urban productive ter-

ritories. Holistically addressing food cycles, the CFC project partners<sup>2</sup> explored a combined qualitative research method that considers the entire life cycle of the agri-food process. The study explores social impacts, spatial dimensions and new co-production potentials (urban agriculture, rooftop farming urban greening) of regional foodsheds, determining operational landscape characteristics (green corridors, urban bio-reserves, ecotones). New creative approaches to co-design through multi-stakeholder engagement and citizen participation address the complexity of urban-rural linkages to foster effective pathways and awareness towards the Green New Deal (European Commission, 2019).

**Cities and agriculture** | The evolution of our cities has produced in Europe and the Mediterranean regions a complex set of challenges and research topics that go beyond the traditional city-landscape, landscape-nature and nature-city relationships. Substantial parts of the work in urban disciplines and territorial sciences have been devoted to the reinterpreting the taxonomy of open spaces (i.e., land use, functions, places, biota, variations) closely linked to agricultural production and how these can become (re)generative elements to define new paradigms in the construction of urban forms. In other words, to move from a traditional dichotomous interpretation of city and countryside to an integrated and systemic vision. Peri-urban regions, in particular, taking on an ecological and proactive role, thanks to

the productive functions associated with environmental eco-structures, presuppose a new type of approach to land governance. (Sonnino, 2019) New tools are required to interpret 'infrastructural' or 'rur-urban' spaces, through primary and tertiary activity combinations: agricultural and technological productions, environmental sensitivities and tourist attractions, private and public spaces, etc.

Agriculture represents one of the most intensive land uses, but also the one we are most accustomed to. This use has led to a profound manipulation of the landscape which, nevertheless, represents today an essential component for conservation and productive efficiency linked to urban metabolic dynamics also according to the Water, Food and Energy Nexus<sup>3</sup> (Caputo et alii, 2021). Along the Latin Arc (Spain, France and Italy), agriculture generally covers an average of 35% to 65% of the geographical area in which only 1% to 5% of the settled population is employed (European Commission, 2013). Therefore, it is crucial to rethink agricultural spaces not only for their primary function but as spaces capable of fulfilling various potential capacities (green infrastructure, ecological corridors, natural matrices, well-being and leisure landscapes, innovative production scenarios, agrotourism hospitalities, etc.) and fostering a perception of the landscape as a 'system of ecosystems'. These systems refer to the ecological resilience of agri-food components to meet multiple urban demands, towards a new technological and operational dimension, linked to 'smart landscapes' or 'advanced landscapes' processes (Gausa, 2020; Canessa, 2021), looking at more integrated systems between man, environment and technology.

In this 'smart' context (Fig. 5), multifunctional agriculture can contribute not only to the promotion of healthier and more sustainable forms of food but also to the optimisation of territorial data collection, diversification of offers and value-chain creation aimed at improving the management of environmental responses and making urbanised contexts less vulnerable to erosive transformation dynamics. Among the study hypotheses that can be formulated around the degree of applicability and interaction between environmental, agronomic and design sciences in the context of food as an 'urban material', three possible fields of action-research emerge based on the following questions:

- 1) To what extent can urban agriculture become a form and structure of the city, considering the new technological possibilities (hydroponic cultivation systems, vertical production and indoor self-production) in order to explore alternative food chains and re-naturalisation patterns even in densely populated contexts?
- 2) How can the different 'intermediate landscapes' (i.e., residential, commercial, logistic, leisure, work, exchange, etc.) characterising the urban sprawl on a territorial scale be rethought, and what interactions can exist between these areas and their users?
- 3) How can food be reformulated as a cultural 'form of process' and creative invention produced by the relationship between space and society, but also as an 'organic matter in transformation' that goes from a complete life cycle to the valori-

sation of its waste and the experimentation of new bio-materials?

The research teams in the Creative Food Cycles project have sought to respond to these challenges by focusing their contribution on different expertise, including digital fabrication, technological innovation, analysis of urban metabolism and regional foodsheds, co-design strategies and social innovation with communities. To date, various assessments of the 'urban footprint' have tended to focus on how cities could become more self-sufficient in meeting their supply demands through increased products availability.

However, the paradigm shift around food as a commodity, increasingly shaping organisational and supply chain arrangements, involves several factors that go beyond the mere satisfaction of a basic need. Issues such as economic sustainability, environmental impacts, nutritional aspects, health safety and territorial justice are also becoming areas of research and design for urban planners, architects and designers who must adapt their languages and working tools to affect space and public awareness. The lack of availability of fresh, quality food, as well as the shift from small-scale productions to international agro-industries, has led to a loss of relationship between producers and consumers and raised concerns in terms of human health, environmental degradation and animal welfare.

### From Urban Food Strategies to Creative Food Cycles

Given the structural repositioning of urban areas in the global food market, it is crucial to understand socio-spatial arrangements defined by a variable geometry of local enterprises, direct producers, consumer groups, cooperative models or other creative cross-cultural contamination. Cities are pivotal fields of action and cultural arenas in which movements in opposition to the food system are most evident, through various phenomena. During the 1970s, several Food Movements (FMs) emerged around these topics, bringing together local activism and green campaigns against the standardization of food offerings in contemporary urban society (Holt-Giménez, 2011).

More recently, alongside greening 'urban guerrilla actions' and similar forms of reaction activated by civil society, local producers are experimenting interconnection with urban food policies, in which cities are configured as new international players in food production systems. The great novelty of this approach, both site-specific and sectorial at the same time, is represented by the promotion of real integrated food strategies for underused urban spaces. (Moragues et alii, 2013) These strategies address a multi-sectoral approach, characterized by a holistic interpretation of supply chains, food systems and environmental benefits to low-impact dietary choices. The international debate identifies some pioneer realities, such as large North American urban areas, firstly in Toronto. Subsequently, the phenomenon has spread to London and small and medium-sized cities in the United Kingdom through Sustainable Food Places<sup>4</sup> and Northern Europe networks.

In recent years, southern European countries such as Greece, Spain and Italy have also begun to implement participatory food policy pro-

cesses. Milan is the first Italian city to have approved an urban food policy, but also the Metropolitan City of Turin has launched a food-related multi-scalar programme (Metropolitan Turin Food Atlas<sup>5</sup>) to build a support tool for future policies in the area. The common denominator of urban food strategies is certainly the systemic approach, which translates into policies aimed at integrating and connecting local actors, resources and tools within policy-making processes.

In this context aimed at widening the notions of sustainability, resource and recycling,

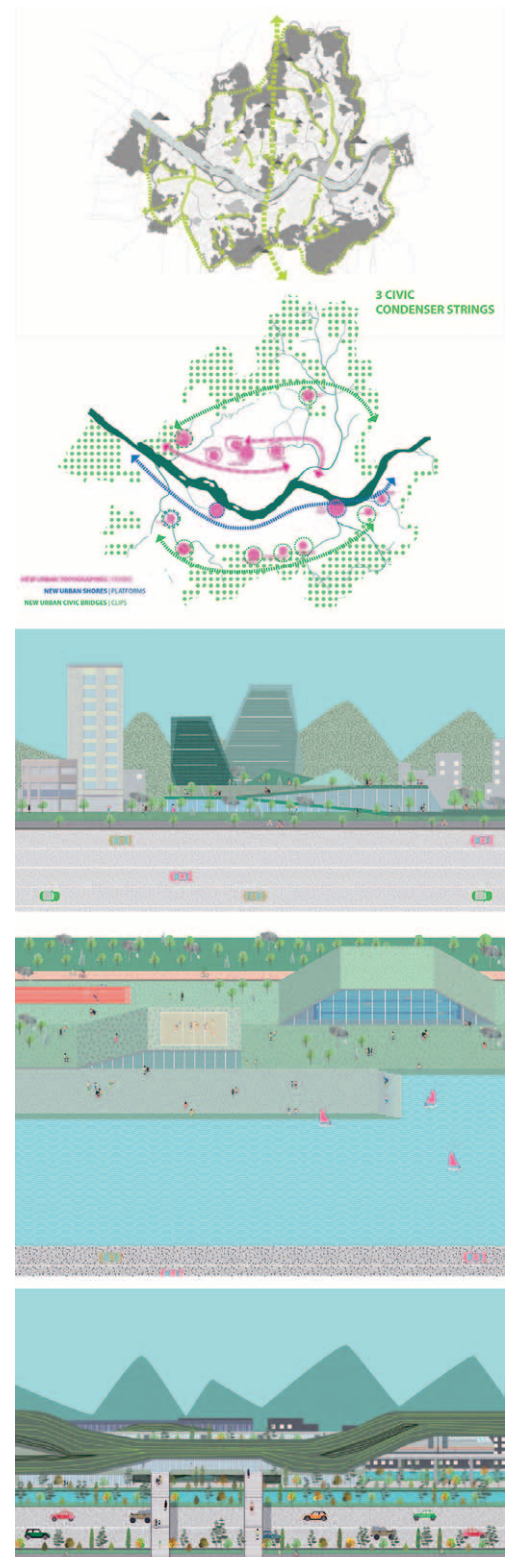


Fig. 10 | Civic Seoul: Lines of implementation (credit: Lokaldesign, Go-Up, GIC-lab, 2017).

the UniGe-GICLab<sup>6</sup> team has carried out its investigation and research activities in relation to the Creative Food Cycles project, starting from four urban planning readings linked to the relationship between agriculture, the city and the territory, already developed in the research *Cr(Eat)ing City* (Sommariva, 2014). Four thematic areas were analysed as contexts of intervention to investigate the characteristics and roles of urban agriculture: metropolises, eco-districts, parks and recycling. The starting point was the study of virtuous processes underway in large metropolitan areas, such as New York which is undergoing a reorganisation of its land-use management plan (PlaNYC) by implementing urban regeneration measures for vast underused areas. This long-term programme combines community-led strategies mixed with procedural forms of co-management greening actions based on the agricultural use of urban spaces. This is also because one of the factors of global change is undoubtedly the strong urbanisation of society and how this has radically transformed the relationship with the Earth and its resources.

Following the rapid movement of capital flows, urbanisation redefines new urban geographies that are disruptive and conflictual, as in China and Latin America, or pervasive, as in Europe and the United States. At the same time, the food demand, like that for other resources instrumental to the concentration of populations, is assuming scale-ups of productive sustainability even in eminently urban areas. More than 800 million people (about 7.5% of the world's population) are engaged in diversified practices related to the agro-urban sector (Steel, 2011). In the last decade, for example, the cities of Hong Kong, Singapore and Taiwan have produced well over 65% of poultry, 16% of pigs and 45% of vegetables for self-consumption within their administrative boundaries. Recent studies show that in the United States, more than a third of valuable agricultural production is located within the so-called Metropolitan Statistical Areas, while even in the world's most densely populated areas there is space for intensive food production to benefit different local markets: In this sense, the Dutch Randstad may be the most obvious example of the green conurbation.

In Munich, urban development programmes prioritise local actions aimed at the realisation of energy-efficient eco-districts that can also reintegrate the qualities of rural life along the most peripheral fringes. With the Agropolis München project (Fig. 6), the city is testing a transitional agricultural park in the Freiham district, where urban agriculture becomes a device for defining different land uses and then prefiguring agro-environmental mitigation strategies for new social housing, combining the management of public space with eco-innovation practices (Schröder et alii, 2009). The German case is a forerunner of European cities' networks that are progressively adopting multi-level strategies for food policies, linking urban environmental quality to pollution reduction, alternative mobility, green space protection and food security in a single framework.

The emphasis on sustainable design and planning is embodied using programmes at all scales of interventions, such as LEED (which recommends standard environmental guidelines for sus-

tainable building projects) and LEED for Cities, which since 2016 has begun to extend sustainability certifications to urban settlements (awarding in 2018 the city of Savona, Liguria as the first LEED gold city in Europe). Among others is worthy to mention the US Green Building Council programme on Green Business Certification (GB-CI), which has helped to encourage the connection between food and ecological issues in the USA, extending the relationship between form and architectural functions. In many contexts, this has led to a conceptual opening of traditional building types and domestic environments or other spaces of social intermediation and neighbourhood services (schools, gyms, libraries, shopping centres, etc.) towards food urbanism and ecological transition principles applied to design. Urban policies thus take on a guiding role together with actions aimed at social participation and co-design with users, helping to define a deeper meaning of urban regeneration, capable of catalysing territorial resources and producing new interactions at the detailed scale.

On the other hand, the processes of land consumption have led to the emergence of a greater attachment of communities to their territory, as well as a new need for the preservation of the countryside (Donadieu, 1998). There is a strong demand for a qualified landscape corresponding to diversified mental images. Today, in the collective desires, the rural environment is increasingly replacing the green space of the garden or the public park (Pileri, 2006), as a context for free interaction with nature, as well as a place for sport, leisure, relax and walks, as highlighted by several surveys, including the one commissioned by Essity<sup>7</sup> (The Green Response Survey 2021) to eleven European countries on the consequences of the pandemic and consumer behaviour concerning sustainability, the perception of natural spaces and the need for self-sufficiency.

At the same time, a new model of the agricultural park is emerging, going beyond the constraining vision of the protected area, typical of the natural park, where integrated design solutions among institutional actors and producers work together to define new forms of agreement or even partnership actions with the various local players for the enhancement of peri-urban contexts. Numerous examples of this type can already be seen in the different 'rur-urbanisation' projects (Donadieu and Fleury 2003) promoted in France, such as in the vineyards of Montmartre, the urban agricultural parks of Bercy, the concession gardens of Milan's South Park, the Chianti hills or the Neapolitan hills of San Martino. This is also happening in the Salento countryside, where the various existing agro-landscape systems are characterised by processes of territorial reorganisation of considerable ecological importance, as also outlined in the Territorial Coordination Plan of the Province of Lecce with the slogan 'Salento as a Park' (Viganò and Secchi, 2001).

However, citizens are often unaware that places of small agricultural production can find space within the consolidated urban fabric, in residual areas, or even on terraces, in courtyards, in spaces left free from previous functions, reinterpreting the metropolitan landscape as a system that can also produce food. Urban spaces when appro-

priately readapted can offer significant potential in recovery processes and qualitative transformations towards grounded environmental awareness (Morgan and Sonnino, 2010). If recycling means putting waste back into circulation by giving it new meaning and value, then the topic of reuse can also coincide with the construction of new life cycles for degraded or polluted contexts. This means rethinking their unexpressed ecological potential, as well as how the communities perceive these spaces, activating co-participatory actions that overcome the static concept of urban zoning in favour of a processual oriented planning vision able to integrate quality production and re-activation small scale interventions.

Over the years, the GICLab has tackled these issues with specific research projects such as AC+ Agri-cultures, Agro-cities (Gausa Navarro and Canessa, 2014) and MedCoast AgroCities (Tucci, 2020), both focusing on land-use modifications and trends related to peri-urban agricultural spaces, but also on the potential for reusing waste produced by the agricultural sector in order to enhance the recycling approach also as a tool of innovating territorial planning. In addition to these researches, there are international experiments in urban renaturation projects and the re-functionalization of peri-urban contexts. Among others, the Plan for the Llobregat Agricultural Park (Fig. 7-9) commissioned by Barcelona Regional and part of the Barcelona Metropolitan City strategic vision for the use of agricultural potentials of the park; the eco-infrastructure study on Seoul (Fig. 10), for reducing urban footprint using extensive re-naturalisation processes and agro-ecological remediation systems; the Albenga GlassCity guidelines (Tucci, 2018) on experimenting the use of bio-materials derived from agricultural waste directly in greenhouse production; finally, the strategic project for Odessa Green Rings (Fig. 11) following the agreement between the City of Odessa and University of Genoa, which proposes urban greening interventions for both consolidated urban areas and peripheral fringes.

In this direction, the international cooperation project Creative Food Cycles (CFC) represents the main step of the UNIGE-GICLab team on the multiple studies on Food-City-Territory and in particular on the reduction of agricultural and food waste through creative co-design processes. On the one hand, the work aims to test new products and materials derived from food waste and organise creative events, and, on the other, to raise awareness about the impact of food cycles in our cities. The CFC project is based on the identification of international good practices with a spectrum of investigation ranging from the urban scale to architectural and product design, in order to analyse the social impact of this paradigm shift with regard to food. Experimentation with agricultural waste is another area of study that can show how the scientific and creative communities are already working on these issues.

Another important objective of the project is the identification of effective methods of representation, communication and knowledge creation of the experiments and installations produced, which can be combined or prototyped for non-industrial use. In this perspective, the pro-



| Reused Food                    | Type of Processing     | Product Description  |
|--------------------------------|------------------------|--|
| Coffee grounds                 | Compression material   | Mooka is a circular product, it is a pot for planting that becomes fertilizer; presented in a setting that offers visitors a visual and olfactory experience                                     |
| Coffee grounds                 | Bioplastic combination | DishBratta line is made by mixing coffee ground and a biological resin; it consists of a set of two dishes, a dinner plate and a deep dish, a fork, a spoon, and chopsticks                      |
| Chamomile infusion             | Bioplastic combination | BioPlastic was born from the desire to create a line of packaging for chamomiles and infusions starting from the classic internal waste of the bags once used                                    |
| Fennel and walnut waste        | Bioplastic combination | Fennut light is a lamp that combines two materials borne from food waste   |
| Eggshell, pasta, lentils, etc. | Bioplastic combination | Bis Bioresina and Bis Compostable, are tableware with different uses: the first can be re-used, and the other one is single-use and biodegradable  |
| Rice husk                      | Bioplastic combination | V.pot is a dish made from the waste of rice husk compressed in a mold with the addition of bio-resins  |
| Fish bones                     | Bioplastic combination | BOFISH is an innovative material obtained from bone and cartilaginous waste from fish sourced locally  |
| Peanut shell                   | Cooking chemistry      | Hanging Plates from peanut shells into bowls   |
| Honey                          | Cooking chemistry      | Miellow is a honey-based bioplastic with a high resistance to water; the semi-transparency given by honey gives it a glass-like appearance   |
| Milk                           | Cooking chemistry      | Galalith is a natural plastic material manufactured by the interaction of casein and formaldehyde; it is odorless, insoluble in water, biodegradable, non-allergenic, antistatic and inflammable |
| Soybean                        | Drying and weaving     | S.D.S. The skin made of soybean, combined with the weaving process, makes healthy and environmentally friendly coasters and placemats  |
| Loofah                         | Drying and weaving     | The mission of the Loofah fiber is to completely reuse decayed and inedible loofah and combine the good physical properties of the loofah  |

**Tab. 1** | Material, process and product with which prototypes have been made within the Creative Food Cycles project presented in Figure 12 with the number corresponding to the row in the chart.

**Fig. 11** | Green Rings Odessa: General Scheme (credit: GIC-lab, 2021).

**Fig. 12** | Prototypes and new materials developed by the designers within the Creative Food Cycles project (credit: CFC, 2019).

ject mainly addresses training and education as a new expertise development priority for professionals in the field of architecture and design to expand moments of international exchange, public debate, scientific dissemination and co-creation, through a creative design-driven approach (Florida, 2002). In this framework, the paper briefly presents the methodological structure of the CFC research, by illustrating the different phases and the work programme, the materials produced and the networking between research organisations, partners and host cities. Concerning further implementations of the study, the occasion is to open up new research perspectives on the circular economy with a particular focus on food cycles and their impact on our cities.

**Methodology, steps and tools** | The CFC research has been structured according to three steps, with different methods and tools of inves-

tigation depending on the case. The first step relates to Food Interactions (Schröder, Sommariva and Sposito, 2020) is a public call to contribute to the creation of an open database of good practices, already existing at the international level, to explore innovative processes and design strategies that would see food as the main element of conception. The received projects cover a heterogeneous architectural repertoire and include examples of public infrastructures (markets, museum centres, art centres, mobile kitchens) and innovative adaptive production systems (shelters, façade modules, compounds, hobby farming) up to eco-design products (urban furniture, objects, new materials).

The second step, the Food Crossovers, focuses on a research-by-design methodology involving researchers, professionals, economic actors and local stakeholders from the partner cities (Barcelona, Hanover and Genoa) through three

thematic workshops, intended as open co-creation laboratories to enhance the technical skills necessary to develop innovative concepts. The aim was to test some of the experiences collected in the catalogue and interview the people who made them, but above all to experiment with new combinations, productions and materials by identifying a pilot project to be realised on a 1:1 scale in the next phase. This phase is central to the methodological structure of the project for two reasons: on the one hand, for the scientific value of action-research based on different types of audiences in an inclusive and intergenerational working environment, and on the other, for the experimental and innovative nature of the results achieved, both from the point of view of the production processes and the design components that can easily be replicated in a manufacturing workshop.

The third phase named Food Cycles in Ac-



tion (Pericu et alii, 2021) sees the involvement of a wider public and a network of cities to host the itinerant project's exhibition, which showcases the collected results in parallel with academic dissemination conferences and public events on food as a cultural and design medium. This phase was very successful due to the deep interaction with different audiences and planned events and activities such as the development of three art installations, aimed at connecting the design actions developed in the meta-design workshops with local art groups; participation in the 2020 edition of the Future Architecture Fair in Ljubljana at the MAO Museum, as a meeting place for architects and designers from all over Europe; a series of online webinars and thematic seminars in the host cities (Patras, Antwerp, Porto, London); an international symposium to open up a broad academic debate on the Food-Creativity-Innovation relationship with selected international experts; a final international festival to explore the convivial and performative aspects of eco-design products in a completed theatrical scene resulting from the systematisation of installations on the theme of food waste, offering new potential uses of bio-materials in the fields of fashion, photography, representation, communication, cooking, creative tailoring, sculpture and product design.

Each project's action has been reinforced by the promotion of dedicated calls for projects (some open and publicised through web portals and professional associations' communication channels, others by invitation) aimed at the development of social innovation actions and specific projects able to promote the widest possible participation of professionals and to encourage local authorities to deepen, with active urban society, formulas for shared experimentation of daily practices to be scaled up to the European dimension. In particular, the calls for projects were intended as preparatory tools to collect ideas on the theme of food as 'design material', but also to allow the creation of a network of proposals with a high level of innovation, disseminated through open access documents.

During the Covid-19 pandemic period (2020-21), other communication tools have been tested, such as online webinars, where participants have been asked to take an active role and experiment with materials derived from food waste in their home environment. For this reason, while confirming the methodological approach to the project, the three research units shared the experimentation of new practices of hyper-mediated interaction with the target users. Furthermore, online dissemination and knowledge creation about the project have been explored through debate sessions (world-café) and a cross-over

on objectives, contents and working methods. In this direction, the CFC project, in particular with the contribution developed by the UniGe-GICLab team, has tried, on the one hand, to test the design of new products and materials derived from food waste within educational programmes and, on the other hand, to organise creative events to raise awareness of the impact of food cycles and agriculture in our cities. Further fields of application for the project concern the agricultural, distribution and catering chains as key sectors with strong impacts on recycling and reducing urban solid and organic waste.

**Conclusions** | The main actions of the CFC project presented in this essay focus on new approaches to the food topic as an 'urban material', concerning its transformation and creative reinterpretation. These require an acknowledgement of the economic and environmental sustainability context that refers to precise EU policies (objectives promoted by the 2030 Agenda, the European Green Deal, and multi-annual Environmental Action Programmes, AAP 2021-2030). Regarding socio-technological innovation, it can be noticed that food sustainability is increasingly diffused, as a field of investigation that accelerates the transformation process. At the same time, it is also necessary to consider a broader territorial response, in which development scenarios are built on global food demand to support the profound transformation of natural areas (the case of the reduction in plant cover in the Amazon is well known to all) towards hyper-agricultural specialisations even close to metropolitan urban structures.

In the last two decades, the phenomenon of re-appropriation of spaces between cities and rural areas has become widespread, especially by the younger generations (under 35), thanks to the launch of innovative agro-food processes and new forms of living in the countryside, tackling different cross-cutting topics: from demographic to environmental issues, from health to food provision. This agricultural transition of the city, not bucolic but hyper-functional and technologically advanced, renews the entire system, from the design of public spaces to domestic ones, with new needs and new opportunities.

Specifically, the activities carried out by the research group of the University of Genoa attempted to provide a reflection, not only theoretical but experimental, on the food emergency and the need to promote more environmentally sustainable processes related to the food sector (packaging, consumption, waste management). The output of the study, developed for about three years (2018-21) and previously described, was to create real products and prototypes (Fig.

12; Tab. 1), transforming food waste into new resources (e.g. new biomaterials for packaging), in order to draw attention to the potential of the combination of recycling and creative reinterpretation. For example, coffee waste has been used to make compostable pottery and vases; while milk waste has been used to make imitation mother-of-pearl; other waste materials (fish bones, eggshells, fruit skins and dried fruit shells) have been used to produce and test new bio-materials to complement product prototyping, always with an eye to the replicability and domestic reproducibility of the processes. This presupposes an active role for the main target users, designers and architects, urban planners and policymakers through artistic formats and open co-creation workshops, to develop a culture of sustainability and urban greening that is as shared as possible.

The prototypes created have also acquired the sense of small experimental devices, to explore the relationship between our daily diet and the way we produce, consume and recycle in our cities. In this sense, it is possible to identify a wider scope for the urban greening strategies, which do not only imply the management of urban green space in a formal sense but which interpret functional processes necessary for daily life (such as food supply) towards new economic, social and qualitative opportunities for our urban habitat. To do this, we must increasingly refer to new paradigms such as the circular economy where waste becomes a resource again. Valuing food means involving active urban society, developing a cultural and holistic approach and stimulating, through the exercise of design vision, an open and inclusive model of synergy between all the scientific disciplines that deal with the urban environment and its transformation.

## Acknowledgements

The contribution is the result of a common reflection of the authors. Nevertheless, the introductory paragraphs and 'Methodology, steps and tools' are attributed to G. Tucci, the paragraph 'From Urban Food Strategies to Creative Food Cycles' to E. Sommariva, the paragraphs 'Cities and agriculture' and 'Conclusions' to N. V. Canessa.

## Notes

1) The research team has been working on these issues with the Erasmus+ projects KAAU (Knowledge Alliance for Advanced Urbanism, 2015-18) and CREATIVE CFC (Creative Food Cycles 2019-21).

2) The different partners followed different activities within the Creative Food Cycles project. The Institute for

Advanced Architecture of Catalonia developed the food production phase through the use of new technologies or new digital manufacturing processes, but also by experimenting with new foods and advanced techniques for indoor production. Leibniz Universität Hannover explored the relationship between distribution and regional/local consumption, imagining pop-up markets that would allow small producers or networks of direct growers to eas-

ily market or exchange their products while creating responsive, temporary and multi-use spaces as platforms for exchange and generation of a new sociality. The University of Genova, with the Department of Architecture and Design, developed the phase related to the valorisation and reuse of food waste connected to the prototyping of new products, materials and co-design processes, through public events, where it was possible to interact and taste experimental food produced from food waste in a convivial atmosphere. For more information, please visit: [creativefoodcycles.org/](http://creativefoodcycles.org/) [Accessed 20 March 2022].

3) For more information, see the webpage: [fao.org/in-action/water-efficiency-nena/activities/nexus-framework/es/](http://fao.org/in-action/water-efficiency-nena/activities/nexus-framework/es/) [Accessed 28 April 2022].

4) For more information, see the webpage: [sustainable-foodplaces.org](http://sustainable-foodplaces.org) [Accessed 28 April 2022].

5) For more information, see the webpage: [atlantedelcibo.it](http://atlantedelcibo.it) [Accessed 28 April 2022].

6) The GICLab (Genova Intelligent Contexts-International Lab), promoted by UniGe Polytechnic School, Department of Architecture and Design, was founded by Manuel Gausa in 2010 to interpret the dynamics of transformation of the contemporary city and architectural space according to a dynamic and qualitative approach starting from a reading of different levels and scales of information: spatial, functional, social, technological, environmental and cultural.

7) For more information, see the webpage: [gsanews.it/news/essity-indaga-il-rapporto-tra-sostenibilita-e-consumatori/](http://gsanews.it/news/essity-indaga-il-rapporto-tra-sostenibilita-e-consumatori/) [Accessed 28 April 2022].

## References

- Benedict, M. A. and McMahon, E. T. (2006), *Green Infrastructure – Linking Landscapes and Communities*, Island Press, Washington.
- Canessa, N. V. (2021) *UnNatural*, Actar Publishers, New York.
- Caputo, S., Schoen, V., Specht, K., Grard, B., Blythe, C., Cohen, N., Fox-Kämper, R., Hawes, J., Newell, J. and Ponizy, L. (2021), “Applying the food-energy-water nexus approach to urban agriculture – From FEW to FEWP (Food-Energy-Water-People)”, in *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 58, article 126934, pp. 1-12. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126934](https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126934) [Accessed 24 March 2022].
- Costanza, R., Norton, B. G. and Haskell, B. D. (1992), *Ecosystem health – New goals for environmental management*, Island Press, Washington.
- Donadieu, P. (1998), *Campagnes Urbaines*, Actes Sud, Ecole Nationale Supérieure du Paysage, Paris.
- Donadieu, P. and Fleury, A. (2003), “La construction de la ville campagne contemporaine | The modern construction of a country town in Europe”, in *Revue de Géographie Alpine*, vol. 91, issue 4, pp. 19-28. [Online] Available at: [persee.fr/doc/rga\\_0035-1121\\_2003\\_num\\_91\\_4\\_2259](https://persee.fr/doc/rga_0035-1121_2003_num_91_4_2259) [Accessed 20 March 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/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN) [Accessed 18 March 2022].
- European Commission (2013), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Green Infrastructure (GI) – Enhancing Europe’s Natural Capital*, document 52013DC0249, 249 final. [Online] Available at: [eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52013DC0249](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52013DC0249) [Accessed 20 March 2022].
- Farina, A., Scozzafava, S. and Napoletano, B. (2007), “Therapeutic Landscape – Paradigms and applications”, in *Journal of Mediterranean Ecology*, vol. 8, pp. 9-13. [Online] Available at: [mecology.com/wp-content/uploads/2014/03/9-13-Farina.pdf](http://mecology.com/wp-content/uploads/2014/03/9-13-Farina.pdf) [Accessed 22 April 2022].
- Florida, R. (2002), *The Rise of the Creative Class – And How It’s Transforming Work, Leisure, Community and Everyday Life*, Basic Books, New York.
- Gausa, M. (2020), *Resili(g)ence – Intelligent Cities / Resilient Landscapes*, Actar Publishers, Barcelona.
- Gausa, M., Guallart, V., Muller, W., Soriano, F., Morales, J. and Porras, F. (2008), *The Metapolis Dictionary of Advanced Architecture*, Actar Publishers, Barcelona.
- Gausa Navarro, M. and Canessa, N. V. (2014), *Agri-Cultures, Agro-Cities, Eco-Productive Landscapes – Agricultural parks as key studies – Barcelona, Llobregat, Liguria, Albenga*, Actar Publishers, New York.
- Getz, A. (1991), “Urban Foodsheds”, in *The Permaculture Activist*, vol. 24, pp. 26-27.
- Hedden, W. P. (1929), *How great cities are fed*, Heath and Company Press, Boston.
- Heynen, N., Kaika, M. and Swyngedouw, E. (eds) (2005), *In the Nature of Cities – Urban Political Ecology and The Politics of Urban Metabolism*, Routledge, London.
- Holt-Giménez, E. (ed.) (2011), *Food movements unite! Strategie per trasformare i nostri sistemi alimentari*, Slow Food Editore, Bra.
- Lefebvre, H. (1968), “Le droit à la ville”, in *L’homme et la société*, n. 6, pp. 29-35. [Online] Available at: [persee.fr/doc/AsPDF/homso\\_0018-4306\\_1967\\_num\\_6\\_1\\_1063.pdf](https://persee.fr/doc/AsPDF/homso_0018-4306_1967_num_6_1_1063.pdf) [Accessed 20 March 2022].
- Kloppenborg, J., Hendrickson, J. and Stevenson, G. W. (1996), “Coming in to the Foodshed”, in *Agriculture and Human Values*, vol. 13, issue 3, pp. 33-42. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/BF01538225](https://doi.org/10.1007/BF01538225) [Accessed 24 March 2022].
- MEA – Millennium Ecosystem Assessment (2005), *Ecosystems and Human Well-being – Current State and Trends, Volume I*. [Online] Available at: [millenniumassessment.org/en/Condition.html#download](http://millenniumassessment.org/en/Condition.html#download) [Accessed 20 March 2022].
- Moragues, A., Morgan, K., Moschitz, H., Neimane, I., Nilsson, H., Pinto, M., Rohrer, H., Ruiz, R., Thuswald, M., Tisenkopfs, T. and Halliday, J. (2013), *Urban Food Strategies – The rough guide to sustainable food system*. [Online] Available at: [agri-madre.net/wp-content/uploads/2018/06/Urban\\_food\\_strategies.pdf](http://agri-madre.net/wp-content/uploads/2018/06/Urban_food_strategies.pdf) [Accessed 28 April 2022].
- Morgan, K. and Sonnino, R. (2010), “The Urban Foodscape – World Cities and The New Food Equation”, in *Cambridge Journal of Regions Economy and Society*, vol. 3, issue 2, pp. 209-224. [Online] Available at: [doi.org/10.1093/cjres/rsq007](https://doi.org/10.1093/cjres/rsq007) [Accessed 28 April 2022].
- Navarro Gausa, M., Pericu, S., Canessa, N. and Tucci, G. (2020), “Creative Food Cycles – A Cultural Approach to the Food Life-Cycles in Cities”, in *Sustainability*, vol. 12, issue 16, 6487, pp. 1-16. [Online] Available at: [doi.org/10.3390/su12166487](https://doi.org/10.3390/su12166487) [Accessed 20 March 2022].
- Pericu, S., Gausa, M., Ronco Milanaccio, A. and Tucci, G. (eds) (2021), *Creative Food Cycles Experience Goa CFC-festinar – A virtual banquet for an innovating research celebration*, Genova University Press, Genova. [Online] Available at: [digital.casalini.it/9788836180660](http://digital.casalini.it/9788836180660) [Accessed 20 March 2022].
- Pileri, P. (2006), “Il verde oltre i parchi – Le opportunità della compensazione preventiva”, in *Territorio*, vol. 37, pp. 132-138.
- Pollan, M. (2006), *The Omnivore’s Dilemma – A Natural History of Four Meals*, The Penguin Press, London.
- Pothukuchi, K. and Kaufman, J. L. (1999), “Placing the food system on the urban agenda – The role of municipal institutions in food systems planning”, in *Agriculture and Human Values*, vol. 16, issue 2, pp. 213-224. [Online] Available at: [doi.org/10.1023/A:1007558805953](https://doi.org/10.1023/A:1007558805953) [Accessed 20 March 2022].
- Schröder, J., Baldauf, T., Deerenberg, M., Otto, F. and Weigert, K. (2009), “Metro Food – A metropolitan vision of food autarchy based on rural-urban reconfiguration”, in De Mulder, B. Rychewaert, M. and Shannon, K. (eds), *Transcending the Discipline – Urbanism & Urbanization as receptors of multiple practices, discourses and realities*, Katholieke Universiteit Leuven, pp. 223-230.
- Schröder, J., Sommariva, E. and Sposito, S. (eds) (2020), *Creative Food Cycles – As driver for urban resilience*, Books 1 and 2, Regionales Bauen und Siedlungsplanung, Leibniz Universität Hannover, Hannover.
- Sommariva, E. (2014), *Cr-Eating City – Urban agriculture strategies for city resilience*, Actar Publishers, Barcelona.
- Sommariva, E. and Sposito, S. (2021), “Creative Food Cycles – Exploring the creative dimension of regional foodsheds in Europe”, in Llop, C., Cervera, M. and Peremiquel, F. (eds), *IV International Conference ISUFH – Metrópolis en recomposició – Prospectivas proyectuales en el Siglo XXI – Forma urbis y territorios metropolitanos, Barcelona 28-30 September 2020*, vol. 3, Panel A.2, DUOT-UPC Press, Barcelona, pp. 1-21.
- Sonnino, R. (2019), “The cultural dynamics of urban food governance”, in *City, Culture and Society*, vol. 16, pp. 12-17. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.ccs.2017.11.001](https://doi.org/10.1016/j.ccs.2017.11.001) [Accessed 20 March 2022].
- Steel, C. (2011), *Hungry City – How food shapes our lives*, Random House, London.
- TEEB (2011), *TEEB Manual for cities – Ecosystem Services in Urban Management*. [Online] Available at: [teebweb.org/publications/other/teeb-cities/](http://teebweb.org/publications/other/teeb-cities/) [Accessed 20 March 2022].
- Tillie, N. (2014), *Urban Metabolism – Sustainable development of Rotterdam*, IABF, Rotterdam. [Online] Available at: [cademia.edu/41492739/Urban\\_Metabolism\\_sustainable\\_development\\_in\\_Rotterdam](http://cademia.edu/41492739/Urban_Metabolism_sustainable_development_in_Rotterdam) [Accessed 20 March 2022].
- Tucci, G. (2020), *Med Coast Agro Cities – New operational strategies for the development of the Mediterranean agro-urban areas*, Listlab, Trento-Barcellona.
- Tucci, G. (2018), *Albenga GlassCity – From the Glass-City to the GreenCity*, ListLab, Trento.
- UN – General Assembly (2015), *Transforming our world – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: [un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A\\_RES\\_70\\_1\\_E.pdf](http://un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf) [Accessed 20 March 2022].
- Viganò, P. and Secchi, B. (2001), *Territori della nuova modernità – Provincia di Lecce, Assessorato alla Gestione Territoriale – Piano Territoriale di Coordinamento*, Electa, Napoli.

## TECNOLOGIE GEOCOMPUTAZIONALI DIGITALI PER IL METAPROGETTO DI INFRASTRUTTURE VERDI URBANE

## DIGITAL GEOCOMPUTATIONAL TECHNOLOGIES FOR THE METAPROJECT OF URBAN GREEN INFRASTRUCTURES

Valeria D'Ambrosio, Ferdinando Di Martino, Marina Rigillo

### ABSTRACT

Il contributo propone un modello di valutazione dell'efficienza ecologica delle aree verdi urbane a supporto della meta-progettazione di 'infrastrutture verdi'. Il modello è stato implementato con un framework GIS-based per l'estrazione di carte di efficienza ecologica. È stata compiuta una sperimentazione del modello sull'area di studio della città di Napoli correlando i livelli di efficienza ecologica con gli scenari di impatto all'ondata di calore a medio e lungo termine sulla popolazione soggetta a povertà energetica. I risultati della sperimentazione evidenziano il valore aggiunto del modello sia in termini di usabilità e replicabilità sia come strumento di supporto per i decisori, in particolare per la meta-progettazione di interventi di infrastrutture verdi in ambito urbano.

The paper presents a model to evaluate the ecological efficiency of urban green areas to support the meta-design of 'green infrastructures'. The model was implemented with a GIS-based framework to extract ecological efficiency maps. The model was experimented in the case study area of Naples, Italy and aims to relate the different ecological capacities with the medium- and long-term heat wave impact scenarios on the population subject to energy poverty. The results of the experiment validate the model in terms of usability and replicability highlighting its added value as a support tool for decision-makers, in particular for the meta-design of green infrastructures in urban areas.

### KEYWORDS

infrastrutture verdi, servizi ecosistemici, efficienza ecologica, scenari di impatto, modello GIS-based

green infrastructures, ecosystem services, ecological efficiency, impact scenarios, GIS-based model

**Valeria D'Ambrosio**, Architect and PhD, is an Associate Professor of Architectural Technology at the Department of Architecture of the 'Federico II' University of Naples (Italy). She carries out research activities in the field of environmental design and technological retrofitting on a building and urban scale with an in-depth study on design strategies and solutions for the adaptation and mitigation of climate impacts. Mob. +39 347/45.12.837 | E-mail: valeria.dambrosio@unina.it

**Ferdinando Di Martino**, PhD, is an Information Technology Researcher at the Department of Architecture of the 'Federico II' University of Naples (Italy). He carries out research mainly in the field of computational intelligence methods and models integrated into GIS systems and applied to the analysis of massive spatial data. Mob. +39 333/45.29.362 | E-mail: ferdinando.dimartino@unina.it

**Marina Rigillo**, PhD, is an Associate Professor of Architectural Technology at the 'Federico II' University of Naples. Her field of study is environmental design particularly focused on climate adaptation of urban spaces, specifically urban and ecosystem services. Her studies are focused also on circular economy and reuse, recycling, and upcycling processes of C&D waste. Mob. +39 328/84.73.780 | E-mail: marina.rigillo@unina.it

A partire dagli studi prodotti al principio degli anni 2000, la comunità scientifica ha definitivamente concordato sulla definizione di 'infrastruttura verde' come sistema interconnesso di aree naturali e semi-naturali (Benedict and McMahon, 2002; Vargas-Hernández, Pallagst and Zdunek-Wielgotaska, 2018) che, inserite nel contesto urbano, consentono la produzione di servizi ecosistemici funzionali a ridurre gli impatti derivanti da eventi climatici estremi, nonché ad assicurare maggiori livelli di benessere per la popolazione e un presidio per la tutela della biodiversità in area urbana (MEA, 2005; European Commission, 2014). Tale definizione è l'esito di un dibattito più che decennale che ha visto un intenso confronto disciplinare riguardo la natura e le potenzialità di una particolare tipologia di spazio non immediatamente riconducibile alla cultura del progetto urbano, e non tipicamente inscritta tra gli elementi di studio delle scienze naturali. Studi relativi ai trend della letteratura scientifica sulle infrastrutture verdi (Parker and Zingoni de Baro, 2019; Monteiro, Ferreira and Antunes, 2020; Ying et alii, 2021) mettono in evidenza il presidio culturale del tema da parte della progettazione urbana e dell'ecologia, ma anche il crescente interesse di settori quali l'economia, la geografia urbana e l'agricoltura, a testimonianza delle importanti potenzialità riconosciute alle infrastrutture verdi quale fattore strategico per il conseguimento di obiettivi molteplici, tutti riconducibili alla complessiva valorizzazione dell'habitat urbano.

Il successo scientifico del concetto è inoltre avvalorato dalla quantità e tipologia di contributi prodotti tra il 1995 e il 2019 (Ying et alii, 2021). L'analisi dei prodotti censiti nel database WOS mostra un numero di articoli decisamente modesto tra il 1995 e il 2010, anno in cui inizia un progressivo aumento delle pubblicazioni con un andamento addirittura rilevante tra il 2015 e il 2019. È interessante notare che le aree geografiche maggiormente coinvolte nel dibattito appartengono ai Paesi più fortemente sviluppati (ad eccezione della Cina), e ricadenti nelle zone climatiche degli ambienti temperati (Parker and Zingoni de Baro, 2019).

Si riconosce, infine, un'importante corrispondenza tra la scala spaziale di riferimento e le tipologie di aree urbane riconducibili al sistema dell'infrastruttura verde (Ying et alii, 2021), nonché una più diretta relazione tra queste ultime e insieme di azioni per la riduzione del rischio climatico. La convergenza dei risultati di tre diversi studi sulla letteratura consente di affermare, con il conforto del dato analitico, che le infrastrutture verdi urbane sono ormai diventate un elemento essenziale nella ricerca di strategie per l'adattamento climatico, riconoscendo alle stesse un ruolo chiave nelle politiche pubbliche e negli interventi sull'ambiente urbano. Soprattutto l'analisi della letteratura prodotta mostra la crescente rilevanza delle infrastrutture verdi nella pianificazione urbana. Si individuano, infatti, importanti opportunità per l'implementazione di spazi pubblici multi-obiettivo, caratterizzati per essere luoghi funzionali a una maggiore sicurezza dal rischio climatico, ma anche in grado di fornire servizi essenziali all'ecosistema urbano.

In particolare, la Commissione Europea promuove le infrastrutture verdi come strategia win-win, in grado di capitalizzare lo stock di risorse na-

turali ancora disponibile nel sistema urbano per contrastare gli impatti di eventi meteorologici estremi e per determinare un vantaggio sociale ed economico nel contesto cittadino (European Commission, 2019, 2021). Benefici, questi, che fanno delle infrastrutture verdi un importante riferimento per la messa in pratica dei principi di 'resilience management' nella città contemporanea. Soprattutto la comunità scientifica identifica nella presenza di suoli evapotraspiranti e di superfici d'acqua la condizione necessaria per produrre servizi ecosistemici, distinguendo il valore dei benefici offerti in ragione della capacità ecologica delle aree potenzialmente disponibili nel sistema urbano. L'incidenza di tali benefici ha prodotto una visione molto più avanzata e complessa del valore del capitale naturale della città e dei territori antropizzati in genere (D'Ambrosio, Rigillo and Tersigni, 2020), tanto da spiegare l'utilizzo del termine 'infrastruttura' per descrivere il sistema dei suoli evapotraspiranti e delle superfici d'acqua a servizio degli interventi di adattamento climatico, sottolineandone il significato di vantaggio sociale collegato alle stesse (Rigillo, 2016).

Alla luce di tali premesse, lo studio che di seguito si riporta muove dall'assunto che la capacità di risposta delle infrastrutture verdi agli impatti legati al cambiamento climatico dipenda dalla quantità e qualità di servizi ecosistemici che le stesse sono in grado di erogare, valutando questi ultimi come i fattori essenziali per il progetto di adattamento climatico dei luoghi urbani. I servizi ecosistemici sono definiti in letteratura come un sistema di benefici multipli prodotti dagli ecosistemi a vantaggio del Pianeta e del genere umano (MEA, 2005). Gli stessi sono descritti rispetto a quattro categorie di prestazioni, essenziali per la sopravvivenza del pianeta e degli habitat urbani: supporto ai cicli biologici; approvvigionamento; regolazione; benessere e funzioni culturali.

Allo stesso modo, la necessità di posizionare secondo principi di massimo beneficio tali infrastrutture nella città rende ancora più cruciale la comprensione dell'effettiva capacità delle aree verdi urbane esistenti di far parte di un'infrastruttura verde. Tali osservazioni sono particolarmente rilevanti quando le infrastrutture verdi urbane mirano a ridurre gli impatti legati ai cambiamenti climatici (Jiang, Jiang and Shi, 2020). Infatti, la capacità delle aree verdi urbane di fornire effetti di raffrescamento dipende sia dal loro potenziale ecologico che dalla loro posizione nella rete verde, in quanto non tutte le aree verdi urbane esistenti sono ecologicamente efficienti e non tutte soddisfano i requisiti elementari per il corretto funzionamento di un'infrastruttura verde. Gli avanzamenti più interessanti, pertanto sono oggi rivolti alla definizione di metodi di conoscenza volti a ridurre il carattere di incertezza sotteso al progetto di tali infrastrutture, con particolare riguardo all'attivazione di processi ecologici il cui esito è legato a un insieme di prestazioni per l'ambiente urbano.

In questa prospettiva, la tecnologia dei sistemi informativi GIS-based consente di strutturare modelli gerarchici in grado di mappare le condizioni di efficienza rispetto allo stock delle aree urbane preesistenti, che potenzialmente potrebbero far parte di un'infrastruttura verde urbana. Tale mappatura supporta il processo proget-

tuale in quanto aiuta a predeterminare gli elementi portanti di un possibile network urbano di aree naturali e semi-naturali in base alla qualità dei servizi ecosistemici erogata, distinguendo le aree stesse in base alla maggiore o minore rispondenza ai criteri di efficienza stabiliti nel modello.

Il presente contributo ha l'obiettivo di presentare un modello di supporto alle decisioni in merito alla selezione di aree verdi urbane, scelte nell'ambito di quelle già esistenti, in grado di delineare scenari molteplici per il progetto di un'infrastruttura verde urbana in una logica di riduzione del rischio di insuccesso. La metodologia è stata progettata allo scopo di testare la ripetibilità del processo e di verificarne l'attendibilità del metodo e degli esiti; essa è originale per gli obiettivi (finalizzati a validare il processo progettuale in una logica predittiva) e perché introduce il concetto di efficienza ecologica come caratteristica specifica della maggiore o minore capacità delle aree verdi urbane di influire nei processi di riduzione della vulnerabilità climatica.

**Metodologia** | In questo studio è presentata una metodologia GIS-based per il riconoscimento delle aree potenzialmente idonee a formare una infrastruttura verde alla scala urbana, funzionale per valutare ex ante la compatibilità di interventi puntuali di adattamento climatico e di mitigazione del patrimonio costruito rispetto alle dimensioni e al funzionamento dell'infrastruttura verde nel suo insieme. Il modello è progettato in un framework GIS-based al fine di consentire la classificazione delle aree verdi urbane esistenti in termini di efficienza ecologica e produrre carte tematiche di efficienza ecologica in grado di supportare le decisioni di progetto rispetto alle azioni da intraprendere per la realizzazione di un'infrastruttura verde urbana.

Inoltre, l'uso della metodologia GIS-based ha permesso di integrare le informazioni relative alle caratteristiche ambientali del territorio con la specificità del patrimonio costruito, finalizzando la ricerca verso la produzione di un framework di conoscenza che, a partire da alcuni livelli informativi spaziali che connotano il tessuto urbano oggetto di studio, consenta di individuare quelle aree verdi urbane ecologicamente efficienti che potrebbero costituire la struttura portante di infrastrutture verdi funzionali per l'adattamento climatico. Tale metodologia è stata sviluppata nell'ambito di due ricerche competitive realizzate tra il 2017 e il 2021, rispettivamente il Progetto di Ricerca di Interesse Nazionale 'Adaptive design e innovazione tecnologica per la rigenerazione resiliente dei distretti urbani in regime di climate change'<sup>1</sup> e il Progetto PLANNER 'Piattaforma per LA gestione dei rischi Naturali in ambienti urbanizzati'.<sup>2</sup>

Nella Figura 1 è schematizzata la gerarchia degli indicatori nel modello sviluppato nel PRIN per la valutazione dell'efficienza ecologica delle aree verdi urbane. L'indicatore di 'efficienza ecologica' è determinato a partire da due indicatori intermedi denominati 'efficienza dimensionale' ed 'efficienza vegetazionale' (Cook, 2002; Losasso et alii, 2021).

La 'efficienza dimensionale' di un'area verde è determinata da due indicatori intermedi, chiamati Size e Compactness; l'indicatore Size valuta l'estensione dell'area verde mentre l'indicato-

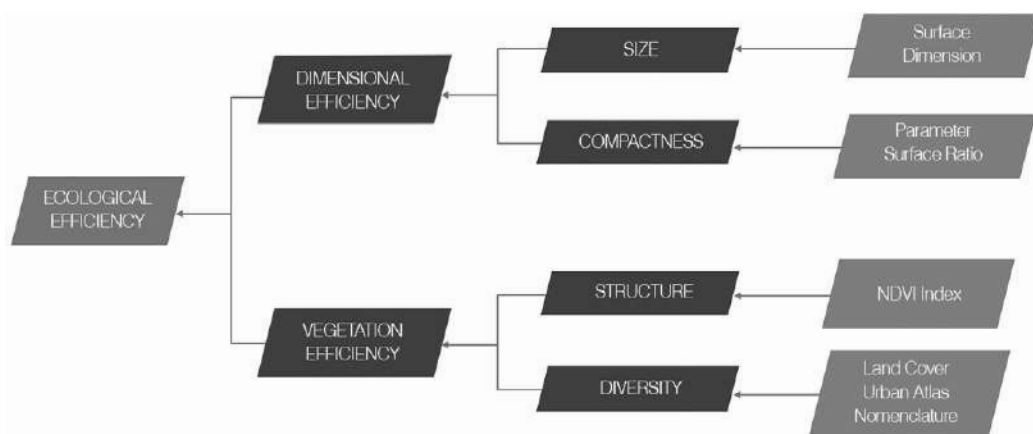


Fig. 1 | Hierarchical model applied to assess the ecological efficiency of urban green areas (credit: the Authors, 2022).

re Compactness ne valuta la sua compattezza, che è tanto maggiore quanto più la forma dell'area verde è simile a un'area circolare e tanto minore quanto più essa è allungata. Nelle Tabelle 1 e 2 sono evidenziate le etichette delle classi in cui sono stati partizionati, rispettivamente, gli indicatori Size e Compactness. L'indicatore Size è composto da tre classi: 'molto estesa', 'sufficientemente estesa' e 'non estesa': l'area verde è classificata in una delle tre classi in base alla propria estensione. L'indicatore Compactness è composto da due classi: 'compatta' e 'non compatta' in base al valore del parametro Rapporto di compattezza ( $R_c$ ), che misura la differenza in valore assoluto tra il raggio di un'area circolare della stessa estensione dell'area verde e la lunghezza costituita da due volte il rapporto tra l'area e il perimetro dell'area verde. L'indicatore 'efficienza dimensionale' è composto da 6 classi. L'area verde compatta è classificata 'core area' se molto estesa, 'stepping zone' se sufficientemente estesa e 'hub' se non estesa; la stessa classificazione è attribuita alle aree verdi non compatte (Tab. 3).

L'indicatore 'efficienza vegetazionale' è determinato prendendo in considerazione la capacità e la diversità di vegetazione. La capacità vegetativa è valutata mediante l'indicatore 'structure' che prende in considerazione l'indice di vegetazione viva NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). L'indice NDVI è determinato mediante rilievo satellitare multispettrale misurando l'assorbimento dei pigmenti di clorofilla nella banda del rosso e la riflettanza del composto vegetale nella banda dell'infrarosso vicino. Valori NDVI molto bassi sono indicatori di aree con vegetazione viva scarsa o assente; al contrario, valori elevati sono presenti in aree forestali/boschive ricche di vegetazione. Il valore dell'indice NDVI di un'area verde è ottenuto aggregando con un processo di statistica zonale i valori NDVI dei pixel del raster satellitare NDVI che ricadono nel poligono, composto da 5 classi (Tab. 4).

La diversità di vegetazione è valutata mediante l'indicatore intermedio 'diversity' che misura la diversità di copertura vegetale dell'area. L'indicatore 'diversity' è composto da 5 classi (Tab. 5), che aggregano differenti tipi di uso del suolo e sono riferite al General Land Use: 'bosco', 'verde urbano', 'area coltivata', 'area incolta' e 'arbusti'. Un bosco costituisce un'area verde con elevata biodiversità, al contrario di un'area prevalentemente incolta o composta da arbusti. L'in-

dicatore 'efficienza vegetazionale' è composto da 2 classi (Tab. 6): 'vegetazionalmente efficiente' e 'vegetazionalmente non efficiente'. Un'area verde è classificata come 'vegetazionalmente efficiente' se appartiene a una classe 'structure' almeno media ed è prevalentemente un'area boschiva, verde urbano o area coltivata.

L'indicatore finale 'efficienza ecologica' è composto anch'esso da 2 classi (Tab. 7): 'ecologicamente efficiente' ed 'ecologicamente non efficiente'. Un'area verde è classificata come 'ecologicamente efficiente' se essa è 'compatta' oppure è una 'non compatta' e se è 'vegetazionalmente efficiente'. Le 'core aree non compatte' e 'vegetazionalmente efficienti' sono classificate come 'ecologicamente efficienti' in quanto l'elevata estensione dell'area è considerata una caratteristica che sopperisce in termini di efficienza ecologica alla sua debole compattezza. Il modello è stato implementato in una piattaforma GIS al fine di produrre (a partire da una base di conoscenza costituita dai dati tematici relativi alle aree verdi del contesto urbano di studio, ai dati di uso del suolo e al raster dataset NDVI) la carta tematica di 'efficienza ecologica' delle aree verdi urbane.

Nel seguito sono descritti i risultati della sperimentazione del modello compiuta sull'area di studio costituita dal tessuto urbano del Comune di Napoli e i risultati del confronto della carta di efficienza ecologica con quella che fa riferimento agli scenari di impatto di ondate di calore, prodotta durante le attività di ricerca del progetto PLANNER.

**Sperimentazione e risultati** | La Città di Napoli si estende su una superficie di circa 119 Km<sup>2</sup> con una densità di verde urbano pari a circa il 9,6% della superficie territoriale. Il capitale verde presente in città risulta diversificato per caratteristiche, estensione e morfologia avendo subito delle modificazioni a valle dei processi di espansione edilizia avviati nel dopoguerra. Il Parco Metropolitan delle Colline di Napoli, istituito nel 2004 dalla Regione Campania, rappresenta il principale sistema naturale della città collocato nell'area nord-occidentale con una estensione di circa 2.215 ettari. Il Parco attraversa i quartieri di Pianura, Soccavo, Chiaiano, Miano, San Carlo all'Arena, Stella, Vomero e Arenella. All'interno del Parco delle Colline, tra i quartieri di Soccavo, Pianura e Vomero, rientra la Collina dei Camal-

doli e il relativo Parco Urbano. Il Bosco di Capodimonte e il costone di Posillipo completano il quadro del capitale naturale di particolare rilevanza ed estensione della città. Il sistema del verde sul territorio cittadino vede, infine, la presenza di aree verdi che in relazione alle dimensioni e alle funzioni prevalenti vanno dal verde pubblico (aree di arredo stradale quali aiuole, giardini e giardinetti) ai parchi urbani (differenziati in parchi urbani di quartiere e parchi cittadini, sia naturali/ornamentali che monumentali).

L'applicazione del modello alla Città di Napoli ha condotto alla individuazione dell'efficienza ecologica delle aree verdi urbane. In Figura 2 è mostrata la carta di 'efficienza ecologica' delle aree verdi presenti nel Comune in cui sono visibili anche i confini dei singoli quartieri. La carta è stata ottenuta implementando su piattaforma GIS-based il modello gerarchico mostrato in Figura 1 utilizzando il tool GIS ESRI ArcGIS Desktop 10.8. La carta tematica mostra un'elevata presenza di aree verdi ecologicamente efficienti soprattutto nelle aree occidentale e nord-occidentale del Comune. Rispetto all'estensione dei quartieri i valori di aree verdi 'ecologicamente efficienti', espressi in percentuale, raggiungono circa il 65% a Bagnoli e Pianura. I valori più significativi si rilevano nell'area nord della città nei quartieri di Chiaiano, Piscinola e San Carlo all'Arena che raggiungono rispettivamente il 70%, il 55% e il 53% di aree 'ecologicamente efficienti', mentre nell'area orientale della città si riducono drasticamente con percentuali pari al 20% a Barra e al 15% a San Giovanni a Teduccio fino risultare del tutto assenti nei quartieri del centro storico.

Nella fase di sperimentazione sono state utilizzate le carte di vulnerabilità e impatti all'ondata di calore realizzate in ambiente GIS-based nel progetto PLANNER, sviluppando una metodologia proposta da Aprea, D'Ambrosio e Di Martino (2019) per analizzare quali fossero le aree verdi urbane 'ecologicamente efficienti' prossime ad aree urbane caratterizzate da elevati livelli di impatto generati da scenari di ondata di calore. Da tale confronto è possibile individuare la struttura portante di una rete di aree verdi a scala urbana da tutelare, implementare e connettere attraverso interventi di progettazione ambientale finalizzati a massimizzare i benefici ecosistemici derivanti dal loro posizionamento all'interno del sistema urbano.

In Figura 3 è mostrata la carta tematica dello scenario di impatto a lungo termine (previsioni dal 2071 al 2100) sulla popolazione residente fuel poverty ottenuta nel progetto PLANNER (di cui a breve si pubblicheranno gli esiti). La popolazione residente fuel poverty è rappresentata dalla popolazione soggetta a povertà energetica ed è, quindi, maggiormente esposta agli effetti negativi sulla salute prodotti da scenari di ondate di calore. Nello scenario di impatto si è fatto riferimento al modello di emissione RCP 4.5 (Representative Concentration Pathway) contenuto nel rapporto AR5 dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2014) in base al quale, per la Città di Napoli sono stati stimati eventi di ondata di calore della durata di 60 giorni consecutivi. La carta di scenario di impatto evidenzia che la maggior parte delle sezioni di censimento in cui è partizionato il Comune (84% delle sezioni) è classificata con 'classe di impatto alta' (2%) o 'medio-alta'

(82%). Solo il 9% delle sezioni è classificato con 'classe di impatto media' mentre il 7% 'medio-bassa' e nessuna sezione è classificata con 'classe di impatto bassa'. Il centro storico cittadino, in particolare, risulta tra le aree maggiormente a rischio, con un'elevata presenza di zone con 'impatto alto' o 'medio alto'.

L'analisi delle due carte tematiche evidenzia, quindi, una forte criticità soprattutto nel centro cittadino, caratterizzato da un ridotto numero di aree verdi 'ecologicamente efficienti', ad alta densità di popolazione, e in cui in proiezione futura, cresceranno notevolmente i rischi provocati da scenari di ondate di calore soprattutto per la popolazione residente che vive in regime di povertà energetica. Nella Figura 4 l'istogramma mostra per quartiere, in valori percentuali, l'estensione delle aree a elevato impatto (classi di impatto alto e medio alto) e l'estensione delle aree ecologicamente efficienti. I quartieri più critici, in cui è alta l'estensione delle aree a elevato impatto e bassa l'estensione delle aree verdi ecologicamente efficienti, sono i quartieri del centro storico Pendino, San Lorenzo, San Giuseppe, Porto, Mercato e San Ferdinando. Una condizione particolarmente critica si evidenzia anche nell'area orientale della città nei quartieri di Barra, San Giovanni a Teduccio e Zona industriale. Emerge invece una condizione decisamente più contenuta degli impatti nei quartieri dove è più marcata la presenza di aree verdi 'ecologicamente efficienti' come Bagnoli, Pianura, Chiaiano, San Carlo all'Arena e Posillipo.

**Conclusioni** | Alla luce dei risultati sperimentali prodotti dall'applicazione del modello è stata effettuata una prima classificazione delle aree verdi urbane esistenti in base al loro potenziale ecologico. La sovrapposizione di queste mappe mostra la fattibilità di un'infrastruttura verde urbana grazie alla presenza di diverse aree di grande estensione ed efficienti dal punto di vista ecologico. Tuttavia, la rete del sistema verde deve essere potenziata attraverso la realizzazione di aree di connessione, che risultano invece limitate nel numero e lontane tra di loro, così da risultare non adeguatamente distribuite al fine del corretto e sinergico funzionamento della rete. Questi primi risultati, coerentemente con quanto desunto dalla letteratura di settore (Foltête, Girardet and Clauzel, 2014), consentono di formulare alcune considerazioni di merito per il progetto di un'infrastruttura verde urbana.

Il progetto deve prevedere misure specifiche per la tutela delle aree verdi 'ecologicamente efficienti', soprattutto quando classificate come 'core area', che rappresentano il principale motore per la produzione di servizi ecosistemici della rete. La ratio è soprattutto quella di tutelare un bene collettivo non riproducibile nel breve-medio periodo che si configura nell'inventario proposto dalla ricerca come insostituibile capitale naturale della città. A tal fine l'approccio progettuale deve mirare a identificare usi del suolo funzionali a valorizzare le aree boschive urbane, anche indicando le stesse come luoghi di rifugio in caso di ondate di caldo estremo. Usi compatibili sono quindi finalizzati a promuovere comportamenti di vita più sani e sostenibili, come quelli legati al tempo libero, all'educazione ambientale, ad alcune tipologie di sport e ad attività di tipo

psico-terapeutico. Per queste aree vanno inoltre definite specifiche azioni di manutenzione ispirate alle pratiche di selvicoltura urbana (Semenzato and Agrimi, 2009; Jim, 2017).

Per quanto concerne le aree 'mediamente efficienti' il progetto delle infrastrutture verdi deve intervenire sulle caratteristiche fisiche ed ecologiche al fine di migliorare le performance di queste aree rispetto ai valori soglia del modello proposto. In termini operativi occorre concepire un mix di interventi di rinaturazione finalizzati a in-

crementare la biodiversità dell'ambiente urbano, nonché nuove funzioni d'uso soprattutto alla scala di quartiere, anche includendo esperimenti di urban gardening e urban agriculture.

Il progetto dell'infrastruttura verde urbana deve, infine, contemplare anche interventi ex novo, rivolti a rafforzare la connettività della rete. In questo caso le azioni devono interessare le aree classificate come 'non estese' ma localizzate in posizione strategica rispetto alla funzione di connessione tipica della rete. Tale tipologia di aree

| Class             | Rule                                   |
|-------------------|--|
| Very wide         | $A > 3$ Hectares                       |
| Sufficiently wide | $1 \text{ Hectare} < A \leq 3$ Hectare |
| Not wide          | $A \leq 1$ Hectare                     |

Tab. 1 | Intermediate Indicator Size: thematic class partitioning (credit: the Authors, 2022).

Tab. 2 | Thematic class partitioning (credit: the Authors, 2022).

| Class       | Rule           |
|-------------|----------------|
| Compact     | $R_c < 0.6$    |
| Non-compact | $R_c \geq 0.6$ |

| Class                     | Rule  |
|---------------------------|---|
| Compact Core area         | Size = Very wide, Compactness = Compact             |
| Compact Stepping zone     | Size = Sufficiently wide, Compactness = Compact     |
| Compact Hub               | Size = Not wide, Compactness = Compact              |
| Non-compact Core area     | Size = Very wide, Compactness = Non-compact         |
| Non-compact Stepping zone | Size = Sufficiently wide, Compactness = Non-compact |
| Non-compact Hub           | Size = Not wide, Compactness = Non-compact          |

Tab. 3 | Dimensional Efficiency Indicator: thematic class partitioning (credit: the Authors, 2022).

| Class     | Rule                    |
|-----------|-------------------------|
| Low       | $0.00 < NDVI \leq 0.10$ |
| Mean-Low  | $0.10 < NDVI \leq 0.20$ |
| Mean      | $0.20 < NDVI \leq 0.30$ |
| Mean-High | $0.30 < NDVI \leq 0.50$ |
| High      | $0.50 < NDVI \leq 1.00$ |

| Class             | Rule              |
|-------------------|-------------------|
| Wood              | Wooded area       |
| Urban Green       | Urban Green       |
| Cultivate area    | Cultivate area    |
| Uncultivated area | Uncultivated area |
| Shrubs            | Shrubs            |

Tab. 4 | Intermediate Indicator Structure: thematic class partitioning (credit: the Authors, 2022).

Tab. 5 | Thematic class partitioning (credit: the Authors, 2022).

| Class                    | Rule   |
|--------------------------|--|
| Vegetatively Effective   | Structure = Mean OR Mean-High OR High and Diversity = Wooded Area OR Urban green OR Cultivate Area |
| Vegetatively Ineffective | Otherwise  |

| Class                    | Rule   |
|--------------------------|--|
| Ecologically Effective   | Dimensional efficiency = Compact Core area OR Compact Stepping zone OR Compact Hub OR not compact Core area AND Vegetation efficiency = Vegetatively efficient |
| Ecologically Ineffective | Otherwise  |

Tab. 6 | Vegetation Efficiency Indicator: thematic class partitioning (credit: the Authors, 2022).

Tab. 7 | Ecological Efficiency Indicator: thematic class partitioning (credit: the Authors, 2022).

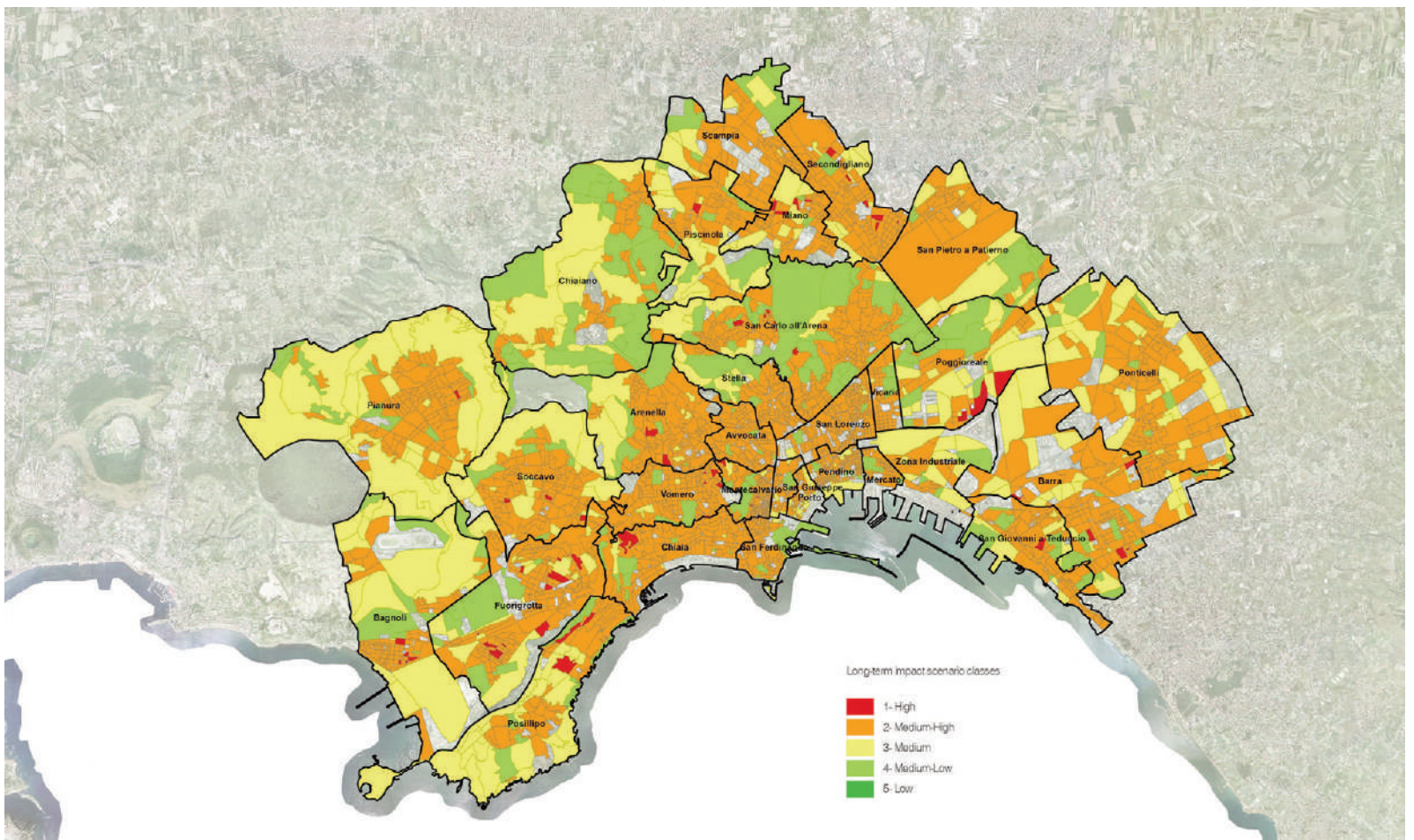
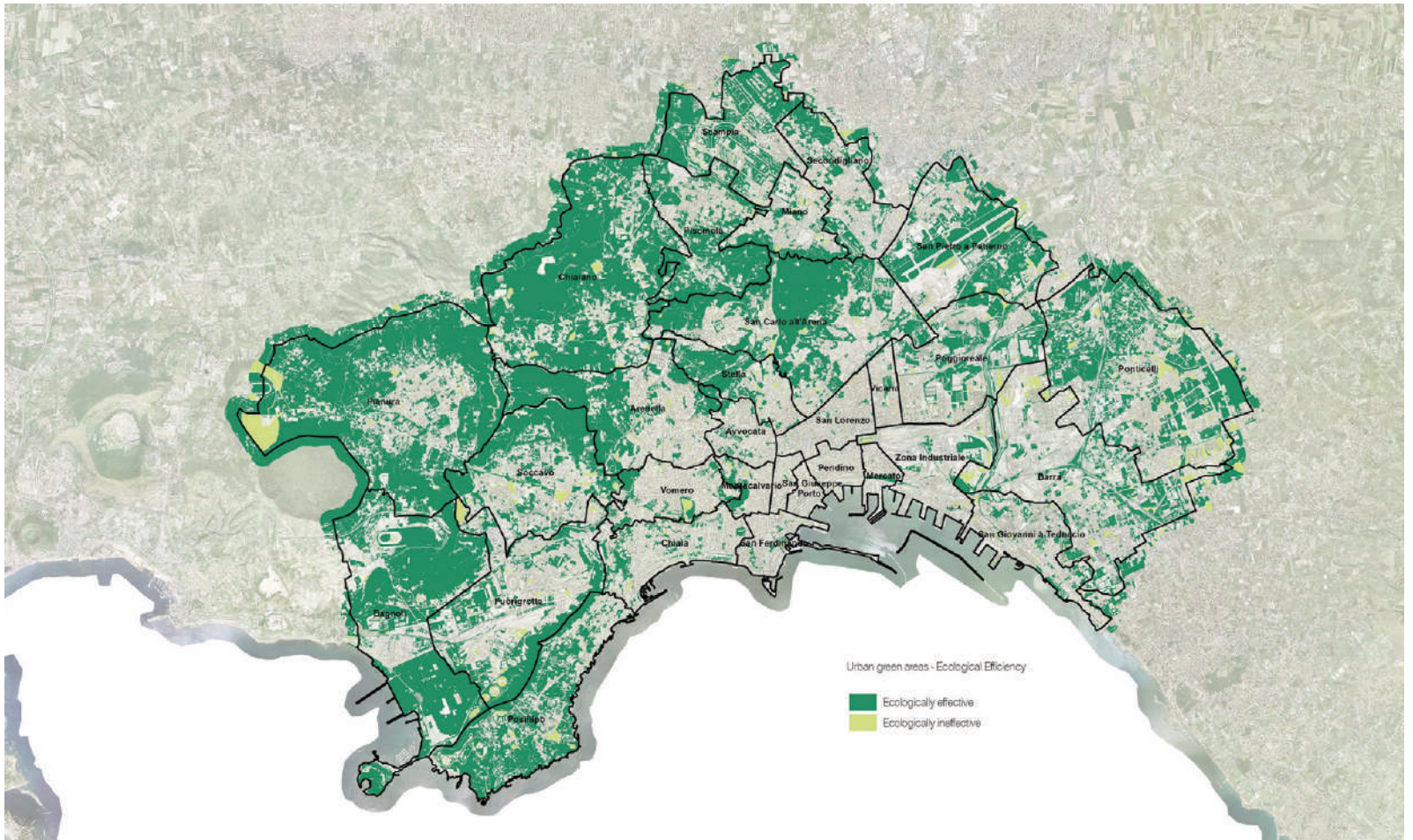
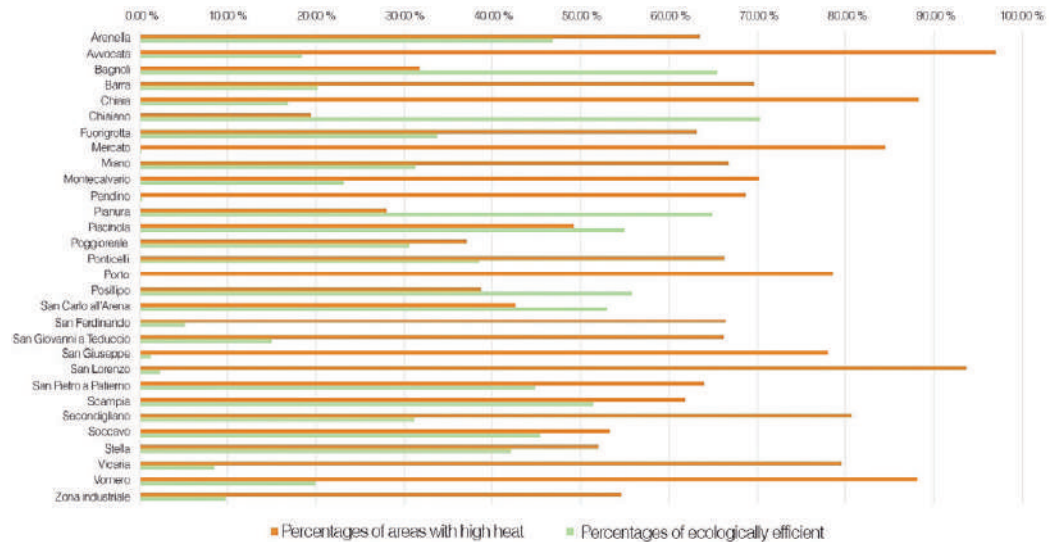


Fig. 2 | Thematic map of ecological efficiency of green areas in the Municipality of Naples (credit: the Authors, 2022).

Fig. 3 | Thematic map of the long-term impact scenario caused by heatwaves on the fuel poverty population in the Municipality of Naples (credit: the Authors, 2022).



**Fig. 4** | Histogram showing the percentages of areas with high heatwave impact and the percentages of ecologically efficient green areas (credit: the Authors, 2022).

rappresenta inoltre ambiti spaziali intermedi tra l'ambiente naturale e quello costruito (facciate verdi, tetti verdi, corridoi urbani, ecc.), molto indicati per interventi di nature-based solutions (Fig. 8).

È possibile quindi concludere che l'applicazione del modello GIS consente di riconoscere le aree urbane esistenti che potrebbero potenzialmente costituire una infrastruttura verde urbana. Nonostante siano stati messi in gioco solo quattro indicatori, la sperimentazione sul caso studio della Città di Napoli dimostra che il modello è in grado di rappresentare le differenze tra le aree verdi esistenti e di caratterizzarne le specificità. In questa prospettiva, il modello è idoneo a supportare le decisioni per il progetto di una infrastruttura verde urbana. Il modello, inoltre, consente di selezionare le misure e gli interventi più appropriati in base alle differenti classificazioni delle aree verdi esistenti e di definire le azioni prioritarie da mettere in campo per contribuire alla riduzione degli impatti climatici sulla popolazione.

Un limite del modello GIS-based proposto è costituito invece dalla necessità di verificare le sue prestazioni in termini di accuratezza della classificazione, infatti non sono disponibili oggi in letteratura dataset di aree verdi urbane riconosciute come ecologicamente efficienti (o non efficienti), da poter utilizzare come training set per il modello. In futuro l'attività di ricerca si propone di migliorare le prestazioni del modello costruendo un dataset delle aree verdi urbane le cui caratteristiche saranno acquisite e misurate in situ, aggiungendo nuovi indicatori sia fisici sia ambientali e tarando opportunamente i pesi in modo da ottimizzare l'accuratezza della classificazione misurata sul training set delle aree verdi urbane.

Starting from the studies carried out in the early 2000s, the scientific community has definitively agreed on defining 'green infrastructure' as an interconnected system of natural and semi-natural areas (Benedict and McMahon, 2002; Vargas-Hernández, Pallagst and Zdunek-Wielgońska, 2018). Inserted in the urban environment, these areas provide a range of ecosystem services intended for reducing the impacts of extreme climate events and ensuring high levels of well-being for the population and defence for the

protection of biodiversity in the urban area (MEA, 2005; European Commission, 2014). This definition is the result of a more than a decade long discussion within the scientific community on nature and the potential of a specific urban space not immediately attributable to the culture of design, and not typically considered one of the objects of study of the natural sciences. Some studies concerning the trends of scientific literature on green infrastructure (Parker and Zingoni de Baro, 2019; Monteiro, Ferreira and Antunes, 2020; Ying et alii, 2021) highlight the cultural interest in the subject of urban design and ecology but also economy, urban geography and agriculture. These trends demonstrate the important potential of green infrastructures as a strategic factor in achieving multiple objectives, all attributable to the overall enhancement of the urban habitat.

The scientific fortune of the concept emerges from the quantity and variety of papers written from 1995 to 2019 (Ying et alii, 2021). The analysis of the products censused in the WOS database shows a low number from 1995 to 2010. That year marked the progressive increase of papers published with a greater number between 2015 and 2019. It is interesting to note that the geographic areas most involved in the debate belong to the most developed countries (except China) and fall into temperate climatic zones (Parker and Zingoni de Baro, 2019).

Lastly, it is recognized a high correspondence between the reference spatial scale and the types of urban areas attributable to the green infrastructure system (Ying et alii, 2021), as well as a more direct link between the latter and a set of actions to reduce climate risk. The convergence of results of three different studies in the literature allows us to say that – with the support of analytics data – urban green infrastructures are an essential element to research strategies for climate adaptation, and have a key role in public policies and operations on the urban environment. In particular, the literature analysis shows the increasing relevance of green infrastructures in urban planning. The latter indeed provide opportunities to implement multi-objective public spaces, characterized by their function of safety places from climate risk, but also their ability to provide essential services to the urban habitat.

In particular, the European Commission pro-

motes green infrastructures as a win-win strategy, capable of capitalizing on the stock of natural resources still available in the urban system to counteract the impacts of extreme weather events and to determine a social and economic advantage in the city context (European Commission, 2019, 2021). These benefits make green infrastructures an important reference to the implementation of 'resilience management' principles in the contemporary city. Specifically, the scientific community identifies the presence of evapotranspiration soils and water bodies as a necessary condition to produce ecosystem services, by distinguishing the value of the benefits offered according to the ecological capacity of the areas potentially available in the urban system. The impact of these benefits on the city has generated a much more advanced and complex vision of the value of the city's natural capital and the anthropized territories in general (D'Ambrosio, Rigillo and Tersigni, 2020). This explains the use of the word 'infrastructure' to describe the role of soil evapotranspiration and water bodies for climate adaptation, highlighting the sense of social benefit associated with it (Rigillo, 2016).

In light of these considerations, the study works on the assumption that the responsiveness of green infrastructures to climate change impacts depends on the quantity and quality of ecosystem services that they can provide. The literature describes ecosystem services as a system of multiple benefits that ecosystems produce for the benefit of the Planet and the humankind (MEA, 2005), and it classifies them in four categories of services essential to the survival of the planet and urban habitats: support for biological cycles; supplying; regulation; well-being and cultural functions.

Similarly, the need to place these infrastructures in the city according to maximum benefit principles makes even more crucial the need to understand the capacity of existing urban green areas to be part of a green infrastructure. Such observations are particularly relevant when urban green infrastructures aim to reduce climate change impacts (Jiang, Jiang and Shi, 2020). The capacity of urban green areas in providing cooling effects depends both on their ecological potential and their location in the green network, since not every urban green area is ecological-



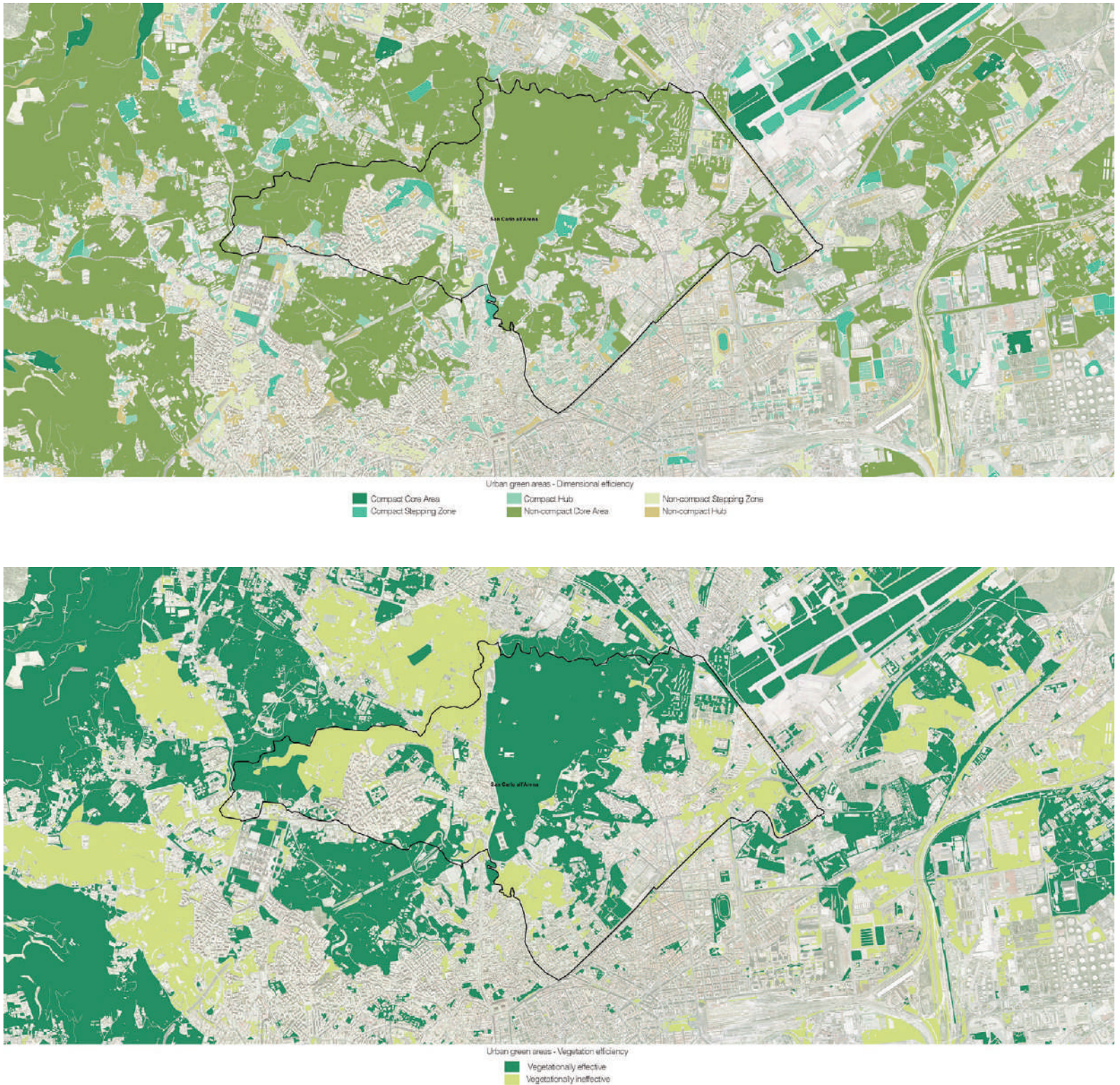


Fig. 5-7 | Thematic maps of Dimensional, Vegetation and Ecological efficiency in the San Carlo all'Arena district (credits: the Authors, 2022).

ly effective and not all of them meet the basic requirements for the proper functioning of a green infrastructure. The most interesting progress in research is currently aimed at defining knowledge methods focused on reducing the uncertainty of the project, especially concerning the implementation of ecological processes, whose outcome is to be attributed to a set of services for the urban environment.

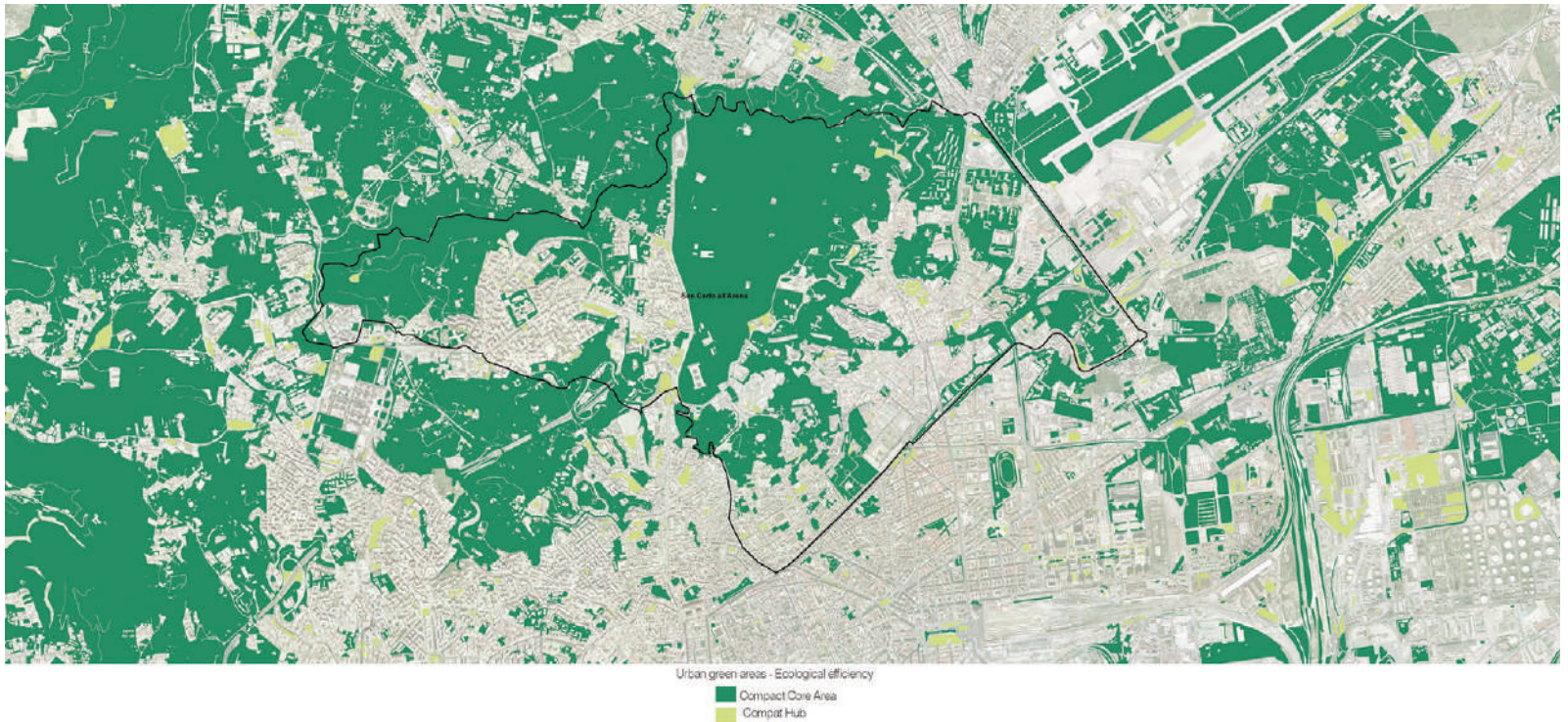
In this sense, the technology of GIS-based information systems allows structuring hierarchical models capable of mapping the conditions of efficiency for the existing urban areas stock, which

could potentially be part of a green urban infrastructure. This mapping supports the design process because it helps predetermine the building blocks for a potential urban network of natural and semi-natural areas. The model works on the number of areas meeting the efficiency criteria laid down in the conceptual framework and, indirectly, with the potential of the ecosystem services produced.

This paper aims to present a model to help select urban green areas, chosen within the framework of the already existing ones, able to outline multiple scenarios to design a green urban infras-

tructure in a fail-proof logic. The method was designed with the aim to test the replicability of the process and verify the reliability of its method and outcomes. The research method is original for its method and objectives. These latter are the validating of the design process in a predictive sense, and the conceptual positioning of the ecological efficiency as a specific characteristic of urban green spaces to reduce urban vulnerability to climate change.

**Methodology** | In this study, a methodology is presented for the recognition of areas potentially suit-



ed to the construction of green infrastructure on an urban scale. The model is functional for the ex-ante assessment of the capacity of green infrastructure in terms of dimensional and vegetation characteristics in support of climate adaptation projects for built heritage. The model is designed in a GIS-based framework to allow the classification of existing urban green areas in terms of ecological efficiency and produce thematic maps of ecological efficiency that can support the project decision on the actions to be taken for the creation of urban green infrastructure.

Moreover, the use of the GIS-based method has allowed the integration of the information concerning the environmental characteristics of the territory with the characteristics of the built heritage, aiming the outcome of the research at the creation of a knowledge framework that, starting from selected spatial information levels characterizing the urban fabric, allows to identify ecologically effective urban green areas that could be the backbone of functional green infrastructures for climate adaptation. This method has been developed within two competitive research projects carried out between 2017 and 2021. First, the National Research Project (PRIN) 'Adaptive design and technological innovations for resilient regeneration of urban districts under climate change'<sup>1</sup> and second, the PLANNER Project 'PLAatform for the maNagement of Natural risks in urbanizEd enviRonments'.<sup>2</sup>

Figure 1 outlines the hierarchy of the indicators in the structure model developed in the PRIN to evaluate the ecological efficiency of urban green areas. The 'ecological efficiency' indicator is determined from two intermediate indicators called 'dimensional efficiency' and 'vegetational efficiency' (Cook, 2002; Losasso et alii, 2021).

The 'dimensional efficiency' of a green area is determined by two intermediate indicators, called Size and Compactness. The Size indicator evaluates the dimensions of the green area, and the Compactness indicator evaluates its compact-

ness, the greater it is the more the shape of the green area is similar to a circular area and the lower it is the more oblong it is. Tables 1 and 2 highlight the labels of the classes in which Size and Compactness indicators are partitioned. The Size indicator is made up of three classes: 'very extended', 'sufficiently extended' and 'not extended'. The green area is classified in one of the three classes according to its size. The Compactness indicator is made up of two classes; 'compact' and 'not compact', based on the value of the Compactness ratio parameter ( $R_c$ ). It measures the difference in absolute value between the radius of a circular area of the same extent as the green area and the length consisting of twice the ratio between the area and the perimeter of the green area. The 'dimensional efficiency' indicator is made up of 6 classes. The compact green area is classified as a 'core area' if it is very extended, 'stepping zone' if sufficiently extended, and 'hub' if it is not extended. This same classification is used for non-compact green areas (Tab. 3).

The 'vegetation efficiency' is determined by taking into account the vegetation capacity and diversity. The vegetation capacity has been evaluated by the indicator 'structure' that takes into account the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for the live green vegetation. The NDVI index is determined by multispectral satellite images by measuring the absorption of chlorophyll pigments in the red region and the reflectance of the plant compound in the near-infrared region. Very low NDVI values show areas with scarce or absent live green vegetation; on the contrary, high values are present in forest/wood areas rich in vegetation. The NDVI index value of a green area is obtained by aggregating the NDVI values of the NDVI satellite raster pixels that fall within the polygon with a zonal statistical process. It is made up of 5 classes (Tab. 4).

The diversity of vegetation is assessed using the 'diversity' intermediate indicator which measures the biodiversity of the area. The 'diversity'

indicator is made up of 5 classes (Tab. 5), aggregating different types of land uses and is referred to the General Land Use: 'woodland', 'urban greenery', 'cultivated area', 'uncultivated area' and 'shrubs'. Woodland is a green area with high biodiversity, the opposite of a predominantly uncultivated area or an area made up of shrubs. The 'vegetation efficiency' indicator is made up of 2 classes (Tab. 6): 'vegetation effective' and 'not vegetation effective'. A green area is classified as 'vegetation efficient' if belongs to an at least middle 'structure' class and is mainly a woodland, urban greenery or cultivated area.

The final indicator 'ecological efficiency' is also made up of 2 classes (Tab. 7): 'ecologically effective' and 'not ecologically effective'. A green area is classified as 'ecologically effective' if it is 'compact' or a 'not compact core area' and if it is 'vegetation effective'. The 'not compact core areas' and 'vegetation effective' are classified as 'ecologically effective' since the large extension of the area is considered as a characteristic that makes up for its weak compactness in terms of ecological efficiency. Starting from a knowledge-based on land use data and the NDVI raster dataset, the model was implemented in a GIS platform to create the thematic maps of 'ecological efficiency' of urban green areas.

The following paragraph describes the results of the experimentation of the model carried out on the urban fabric of Naples and the results of the comparison between the ecological efficiency map and the map referring to the impact scenarios of heatwaves produced during the research activities of the PLANNER project.

**Experimentation and results** | Naples is located on an area of approximately 119 square kilometres with an urban green density of approximately 9.6%. The green capital in the city has different characteristics, size and morphology according to the modifications after the building expansion processes started after the II World War.



**Fig. 8** | Re-Programming Barcelona, Barcelona Green Infrastructure and Biodiversity Plan 2020, designed by Aientament de Barcelona (source: takingcareproject.eu).

The Parco Metropolitan Delle Colline of Naples, created in 2004 by the Campania Region, is the main natural system of the city, located in the north-western area with a size of about 2,215 hectares. The park area crosses the districts of Pianura, Soccavo, Chiaiano, Miano, San Carlo all'Arena, Stella, Vomero and Arenella. Within this park, between Soccavo, Pianura and Vomero districts, there is the Camaldoli hill and its urban park. The Parco di Capodimonte and Posillipo ridge complete the picture of the particular important and extensive natural capital of the city. The Naples green system also envisages the presence of a large number of areas ranging from public green spaces (street furniture areas, such as flower beds, gardens and small gardens) to urban parks (divided into urban district parks and city parks, both natural/ornamental and monumental), depending on their size and position.

The implementation of this model in Naples has led to finding the ecological efficiency of green areas in Naples. Figure 2 shows the map of the 'ecological efficiency' of green areas in Naples, where the boundaries of each district are represented. The map was obtained by implementing a hierarchical model on a GIS-based platform (Fig. 1) using the GIS ESRI ArcGIS Desktop 10.8 tool. The thematic maps show a high presence of ecologically effective green areas mostly in the western and north-western areas of Naples. According to the districts surface dimensions, the percentages of 'ecologically efficient' green areas are approximately 65% in Bagnoli and Pianura, and 56% in Posillipo. The most significant values are detected in the northern area of the city, in Chiaiano, Piscinola and San Carlo all'Arena districts, reaching respectively, 70%, 55% and 53% of 'ecologically effective' areas, while in the eastern area they drastically reduce: 20% in Barra and 15% in San Giovanni a Teduccio and are completely absent in the districts of the old city.

With regard to experimental research, vulnerability and impact maps of heat waves have been

used. The purpose of these maps is to analyze which 'ecological effective' green areas closer to urban areas with a high incidence of heat waves impacts. These maps were created in a GIS environment implementing the method developed by Aprea, D'Ambrosio and Di Martino (2019) under the PLANNER project. This analysis allows to identify the supporting structure of a network of green areas on urban scale. Further, it is possible to identify areas to protect, implement and connect through environmental design projects. These latter aimed at maximizing the ecosystem benefits deriving from their location within the urban system.

Figure 3 shows the thematic map of the long-term impact scenario (projections from 2071 to 2100) on the citizens touched by fuel poverty, developed by the PLANNER project (results will be published shortly). The citizens touched by fuel poverty are represented by the population susceptible to energy poverty and, therefore, highly exposed to adverse health effects from heatwave scenarios. In the impact scenario, the reference was the RCP 4.5 (Representative Concentration Pathway) emission model. It is contained in the AR5 report made by Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2014). According to it, heatwave events lasting 60 consecutive days are estimated for Naples. The impact scenario map shows that most of the Naples Municipality censused sections (84% of the sections) are classified as 'high impact class' (2%) or 'medium-high' (82%). Only 9% of the sections are classified as 'medium impact class', while 7% are 'medium-low' and no section is classified as 'low impact class'. The city centre, in particular, is one of the riskiest areas, with a high presence of areas with 'high' or 'medium-high' impact.

Therefore, the analysis of the two thematic maps highlights some relevant criticalities, especially in the city centre. This is due to the low number of 'ecologically effective' green areas with a high population density. Here, the risks associ-

ated with heat wave scenarios will increase significantly in the future, particularly for people living in energy poverty. For each district, the histogram of Figure 4 depicts the percentage of high-impact areas (high and medium-high impact classes) and the percentage of ecologically effective areas, according to the different district's size. The most critical districts are the districts of the old city: Pendino, San Lorenzo, San Giuseppe, Porto, Mercato and San Ferdinando. Here, the incidence of high-impact areas is high and the presence of ecologically effective green areas is low. A particularly difficult situation is highlighted also in the eastern area of the city, in the districts of Barra, San Giovanni a Teduccio and in the Industrial area districts. A more limited condition of the impacts emerges in the districts where the presence of 'ecologically effective' green areas is stronger, as in Bagnoli, Pianura, Chiaiano, San Carlo all'Arena and Posillipo.

**Conclusions** | In the light of the experimental results carried out by the model, a first characterization of urban existent green areas has been done based on their ecological potential. By overlaying these maps, the feasibility of urban green infrastructure is demonstrated, thanks to the presence of many large ecologically efficient areas. However, the green system network needs to be enhanced by creating connection zones, which in the model seem to be scattered and few, thus resulting inadequate for the effective synergy of the network. These first results are in line with the literature in this field (Foltête, Girardet and Clauzel, 2014), and admit some key considerations for designing an urban green infrastructure.

The green infrastructure project has to envisage specific measures for the protection of the 'ecologically effective' green areas (notably when classified as 'core areas') due to they are the main driver to produce ecosystem services in the network. These latter emerge by the proposed methodology as a key part of the city's natural capital, so the

goal is to protect these areas as a common good not renewable in the short- or medium-term. To this end, the design approach aims at identifying land uses to enhance urban woodlands, also by indicating them as places to shelter in the event of extreme heatwaves. Compatible land uses are those aimed to promote healthier and sustainable lifestyles, such as leisure, environmental education, sports activities and certain psychotherapy types. Specific maintenance actions inspired by urban forestry practices must also be established for these areas (Semenzato and Agrimi, 2009; Jim, 2017).

For 'moderately effective' areas, the green infrastructures project needs to work on physical and ecological characteristics in order to improve their environmental performances with regard to the threshold values established by the model. In operational terms, there is a need to design a mix of renaturation actions aimed at increasing the biodiversity of the urban environment, including new land uses such as urban gardening and urban agriculture, especially at the district scale.

## Acknowledgements

The paper is the result of a joint reflection by the Authors in the field of competitive research on this subject.

## Notes

1) The PRIN 2015 research group is made up of the University of Naples 'Federico II' (Lead Partner), the Polytechnic University of Milan, the 'Sapienza' University of Rome, the 'Luigi Vanvitelli' University of Campania, the University of Florence and the 'Mediterranea' University of Reggio Calabria.

2) The PLANNER project, POR 2014-2020, was carried out by a research group from the Department of Architecture at the 'Federico II' University of Naples (Scientific Supervisor: V. D'Ambrosio; GIS-Based Processes Manager: F. Di Martino), together with a Research Group of the Department of Structures for Engineering and Architecture and the ETT S.p.A., GeneGIS S.r.l., STRESS Scarl partners. Professor G. M. Verderame was the Scientific Supervisor of the project.

## References

Apreda, C., D'Ambrosio, V. and Di Martino, F. (2019), "A climate vulnerability and impact assessment model for complex urban systems", in *Environmental Science and Policy*, vol. 93, pp. 11-26. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.016 [Accessed 17 March 2022].

Benedict, M. A. and McMahon, E. T. (2002), "Green Infrastructure – Smart Conservation for the 21st Century", in *Renewable Resources Journal*, vol. 20, n. 3, pp. 12-17. [Online] Available at: merseyforest.org.uk/files/documents/1365/2002+Green+Infrastructure+Smart+Conservation+for+the+21st+Century..pdf [Accessed 17 March 2022].

Cook, E. A. (2002), "Landscape structure indices for assessing urban ecological networks", in *Landscape and Urban Planning*, vol. 58, issue 2-4, pp. 269-280. [Online] Available at: doi.org/10.1016/S0169-2046(01)00226-2 [Accessed 17 March 2022].

D'Ambrosio, V., Rigillo, M. and Tersigni, E. (2020), "Orizzonti della ricerca ambientale e nuovi perimetri culturali per il progetto climate proof", in D'Ambrosio, V., Rigillo, M. and Tersigni, E. (eds), *Transizioni – Conoscenza e progetto climate proof*, Clean, Napoli.

The urban green infrastructure project must envisage extra design operations, aimed at strengthening the network connection. Here, new design solutions should concern the areas classified as 'not extended' but strategically placed for implementing the ecological connecting capacity of the network. This type of area also represents intermediate spatial areas between the natural and built environment (green facades, green roofs, urban corridors, etc.), apt for nature-based solutions (Fig. 8).

Therefore, it is possible to conclude that the implementation of the GIS model allows for the recognition of existing urban areas that could potentially be part of a green urban infrastructure. Although only four indicators came into play, the experimentation on the case study of Naples demonstrates that the model can represent and characterize the differences between existing green areas. In this sense, the model can support the project decisions for urban green infrastructure. Further, the model allows to select the most suitable measures and projects according to the

European Commission (2021), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Forging a climate-resilient Europe – The new EU Strategy on Adaptation to Climate Change*, document 52021DC0082, 82 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX:52021DC0082 [Accessed 17 March 2022].

European Commission (2019), *Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Review of progress on implementation of the EU green infrastructure strategy*, document 52019DC0236, 236 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2019:236:FIN [Accessed 17 March 2022].

European Commission – Directorate-General for Environment (2014), *Building a green infrastructure for Europe*, Publications Office. [Online] Available at: doi.org/10.2779/54125 [Accessed 17 March 2022].

Foltête, J.-C., Girardet, X. and Clauzel, C. (2014), "A methodological framework for the use of the landscape graphs in land-use planning", in *Landscape and Urban Planning*, vol. 124, pp. 140-150. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.12.012 [Accessed 17 March 2022].

IPCC (2014), *Climate Change 2014 – Synthesis Report – Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Online] Available at: ipcc.ch/report/ar5/syr/ [Accessed 17 March 2022].

Jiang, Y., Jiang, S. and Shi, T. (2020), "Comparative Study on the Cooling Effects of Green Space Patterns in Waterfront Build-Up Blocks – An Experience from Shanghai", in *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, issue 22, 8684, pp. 1-29. [Online] Available at: doi.org/10.3390/ijerph17228684 [Accessed 17 March 2022].

Jim, C. Y. (2017), "Conservation and Creation of Urban Woodlands", in Tan, P. Y. and Jim, C. Y. (eds), *Greening Cities – Forms and Functions*, Springer, Singapore, pp. 307-330. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-981-10-4113-6\_14 [Accessed 17 March 2022].

Losasso, M., Giugni, M., D'Ambrosio, V., Rigillo, M., De Paola, F., Di Martino, F., Pugliese, F., Dell'Acqua, F. and Gerundo, C. (2021), "Multi-scale Design for the Resilience of Urban Districts – Eco-districts and Climate-

different classifications of existent green areas, and it addresses the key actions to reduce climate impacts on the population.

A limit of the proposed GIS-based model is the classification accuracy. In the literature, Datasets of urban green areas already labelled as effectively ecological (or not effectively ecological) are not currently available to be used as a training set for the model. Future research steps will be aimed to improve the model performance by building a dataset of urban green areas, whose characteristics will be acquired and measured on-site. New physical and environmental indicators will be added and appropriately calibrated in order to optimize the accuracy of the classification measured on the training set of urban green area.

proof Solutions for the Western Area of Naples – The Application Case of Soccavo", in Bologna, R., Losasso, M., Mussinelli, E. and Tucci, F. (eds), *From Urban District to Eco-district – Knowledge Methodologies, Strategic Programmes, Pilot Projects for Climate Adaptation*, Maggioli Editore, Milano, pp. 86-98.

MEA – Millennium Ecosystem Assessment (2005), *Ecosystems and Human Well-Being – Synthesis*, Island Press, Washington (DC). [Online] Available at: millenniumassessment.org/en/Synthesis.aspx [Accessed 21 March 2022].

Monteiro, R., Ferreira, J. C. and Antunes, P. (2020), "Green Infrastructure Planning Principles – An Integrated Literature Review", in *Land*, vol. 9, issue 12, 525, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.3390/land9120525 [Accessed 17 March 2022].

Parker, J. and Zingoni de Baro M. E. (2019), "Green Infrastructure in the Urban Environment – A Systematic Quantitative Review", in *Sustainability*, vol. 11, issue 11, 3182, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su11113182 [Accessed 17 March 2022].

Rigillo, M. (2016), "Infrastrutture verdi e servizi ecosistemici in area urbana – Prospettive di ricerca per la progettazione ambientale | Green Infrastructures and Ecosystem Services in urban areas – Research perspectives in environmental design", in *Techne | Journal of Technology and Environment*, vol. 11, pp. 59-65. [Online] Available at: doi.org/10.13128/Techne-18402 [Accessed 17 March 2022].

Semenzato, P. and Agrimi, M. G. (2009), "La selvicoltura urbana – Non solo la cura degli alberi", in Ciancio, O. (ed.), *Atti del III Congresso Nazionale di Selvicoltura – 16-19 Ottobre 2008 Taormina (Messina)*, vol. 3, Accademia Italiana Scienze Forestali, Firenze, pp. 948-953. [Online] Available at: aisfdotit.files.wordpress.com/2013/08/taormina-terzo-ottobre.pdf [Accessed 17 March 2022].

Vargas-Hernández, J. G., Pallagst, K. and Zdunek-Wielgołaska, J. (2018), "Urban Green Spaces as a Component of an Ecosystem", in Dhiman, S. and Marques, J. (eds), *Handbook of Engaged Sustainability*, Springer, Cham, pp. 1-32. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-53121-2\_49-1 [Accessed 17 March 2022].

Ying, J., Zhang, X., Zhang, Y. and Bilan, S. (2021), "Green infrastructure – Systematic literature review", in *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*. [Online] Available at: doi.org/10.1080/1331677X.2021.1893202 [Accessed 17 March 2022].

## LA MICRO-FORESTAZIONE URBANA PER L'ADATTAMENTO CLIMATICO NEI PORTI MINORI DEL MEDIO ADRIATICO

### URBAN MICRO-FORESTRY FOR CLIMATE ADAPTATION IN THE SMALLER PORTS OF THE MID-ADRIATIC SEA

Roberta Cocci Grifoni, Timothy Daniel Brownlee,  
Graziano Enzo Marchesani, Maria Federica Ottone

#### ABSTRACT

L'articolo descrive un lavoro di ricerca finalizzato all'individuazione di strumenti a supporto dell'attivazione e rigenerazione ambientale dello spazio aperto dei porti del medio Adriatico, ambito caratterizzato da una serie di potenzialità ancora inesprese ma contestualmente anche da rilevanti criticità. Partendo da una serie di dati estrapolati dal progetto INTERREG Italia-Croazia Joint\_SECAP e, in particolare dai rischi e dalle vulnerabilità climatiche della città del medio Adriatico italiano, il contributo presenta ipotesi di trasformazione leggera di una parte di area demaniale dell'infrastruttura portuale attraverso interventi di micro-forestazione urbana. L'approccio metodologico si basa sull'utilizzo di strumenti di simulazione che prevedono l'implementazione di una piattaforma parametrica che, generando algoritmi proprietari, consente di avere un controllo ricorsivo su ogni aspetto del processo.

The article describes a research work aimed at identifying tools to support the activation and environmental regeneration of the open space of the ports in the mid-Adriatic area, an area with untapped potential, though there are significant criticalities. Starting from a set of data taken from the INTERREG Italy-Croatia Joint\_SECAP project and, in particular, from the risks and climatic vulnerabilities of the Italian mid-Adriatic city, the contribution presents hypotheses for the light transformation of a part of the port infrastructure through urban micro-forestry interventions. The methodological approach uses simulation tools with a parametric platform that generates proprietary algorithms and allows recursive control over every aspect of the process.

#### KEYWORDS

micro-forestazione, adattamento ai cambiamenti climatici, comfort urbano, porti, Adriatico

micro-forestation, climate change adaptation, urban comfort, ports, Adriatic

**Roberta Cocci Grifoni**, Physicist and PhD, is an Associate Professor in Architectural Technology at the School of Architecture and Design of the University of Camerino (Italy). She carries out research activities mainly in environmental thermofluid dynamics and quality of life. Mob. +39 347/53.14.228 | E-mail: roberta.coccigrifoni@unicam.it

**Timothy D. Brownlee**, Architect and PhD, is a Research Fellow in Architectural Technology at the School of Architecture and Design of the University of Camerino (Italy) and works on urban open spaces and climate change adaptation measures. Mob. +39 349/87.46.755 | E-mail: timothy.brownlee@unicam.it

**Graziano Enzo Marchesani**, Architect and PhD, is a Research Assistant at the School of Architecture and Design of the University of Camerino (Italy), he works mainly on numerical simulations for the evaluation of urban comfort. Mob. +39 348/66.61.347 | E-mail: graziano.marchesani@unicam.it

**Maria Federica Ottone**, Architect and PhD, is a Full Professor of Environmental Design at the School of Architecture and Design, University of Camerino (Italy). Her research topics include urban open spaces and the relationship between the different dimensions of design in urban regeneration and transformation. E-mail: mariafederica.ottone@unicam.it

Molte delle recenti politiche di euro-partenariato rivolte a contrastare gli effetti del cambiamento climatico e a favorire l'individuazione di misure di adattamento sono indirizzate ai territori costieri del Mediterraneo, una delle regioni più sensibili al surriscaldamento globale (Guida, 2021). Il Mediterraneo è un mare relativamente perimetrato, con ridotte connessioni con altri bacini; essendo poco profondo le sue acque tendono a riscaldarsi più rapidamente di quelle degli oceani, tanto da generare un aumento della temperatura delle acque superficiali anche di 2 °C in più rispetto alle rilevazioni storiche. La confluenza di due fenomeni, da un lato un riscaldamento delle masse d'aria delle alte quote atmosferiche e dall'altro una riduzione graduale e continua del gradiente di temperatura tra il comparto terra e quello del mare causato dal tasso di riscaldamento del Mediterraneo, superiore del 20% alla media mondiale, porta verso un inaridimento generale dei territori che vi si affacciano, tanto da considerare l'intera area come una sorta di hot-spot (Tuel and Eltahir, 2020).

Gli spazi aperti delle città costiere del mar Mediterraneo denotano crescenti vulnerabilità ai cambiamenti climatici, mostrandosi particolarmente soggetti agli effetti dell'innalzamento delle temperature e di conseguenza alle inondazioni e all'isola di calore urbano (Matos Silva, 2019; de Graaf-van Dinther and Ovink, 2021). Tali effetti, uniti all'alta frammentazione degli spazi verdi e all'elevato consumo di suolo particolarmente evidente nelle città costiere (ISPRA, 2019), generano impatti sul benessere e sulla qualità della vita dei cittadini. (Tucci et alii, 2020). In questo scenario, alcuni porti minori del medio Adriatico, inseriti all'interno di una ricorrente omogeneità dei morfotipi insediativi (Fig. 1) caratterizzati dalla presenza diffusa di dotazioni per il turismo e per la pesca e da una offerta capillare di approdi e di attrezzature portuali (Talia, 2019), si configurano come degli ambiti critici e contemporaneamente di interesse strategico. Il focus è rivolto in particolare ai porti ubicati in aderenza ai centri abitati di alcune cittadine delle Marche e dell'Abruzzo – Pesaro, Fano, Senigallia, Numana, Civitanova Marche, San Benedetto del Tronto, Giulianova, Ortona e San Salvo Marina<sup>1</sup> (Fig. 2) – in quanto ambiti climaticamente vulnerabili e allo stesso tempo potenziali motori a supporto della crescita economica e turistica locale.

Il presente contributo illustra quindi uno studio che vuole dimostrare come, attraverso una metodologia meta-progettuale basata sulla micro-forestazione urbana, si possa contribuire alla rigenerazione ambientale di parte del sistema costiero adriatico avvalendosi delle aree portuali collocate all'interno della città consolidata per: 1) limitare gli effetti del calore urbano, soprattutto in clima estivo; 2) reinserire i porti all'interno del sistema urbano come aree attrattive per cittadini e turisti, in quanto parti di città a elevato potenziale di utilizzo; 3) ridurre l'abbandono e aumentare il comfort e la sicurezza di porzioni di città che nella stagione invernale risultano poco vissute e trascurate. Più specificatamente lo studio è finalizzato all'individuazione di strumenti a supporto dell'attivazione e rigenerazione ambientale dello spazio aperto dei porti del medio Adriatico.

Il documento è strutturato nel seguente mo-

do: 1) la prima parte si concentra sulla presentazione delle caratteristiche morfologiche e climatico-ambientali che accomunano i porti minori adriatici sviluppando un focus specifico sull'area di studio del porto di San Benedetto del Tronto; 2) sulla base dei dati precedentemente forniti, vengono illustrate le ipotesi meta-progettuali di micro-forestazione che individuano diversi scenari; 3) successivamente viene presentata la metodologia atta a valutare gli impatti post-operam in termini di contrasto all'isola di calore urbana e al miglioramento del comfort ambientale dell'area portuale; 4) nella parte conclusiva, alcune raccomandazioni generali e suggerimenti aprono la strada a ulteriori sviluppi (Fig. 3).

### Caratteristiche dei porti minori del medio Adriatico

Da analisi condotte sulle attuali superfici delle aree portuali (Ottone and Cocci Grifoni, 2021) emergono alcune considerazioni preliminari indirizzate a individuare opportunità di carattere strategico-progettuale. La presenza di grandi superfici libere in prossimità dei centri cittadini rende queste aree particolarmente adatte a essere oggetto di interventi di rigenerazione urbana, di 'densificazione verde' e di installazione di attività stagionali anche a servizio dell'offerta turistica e capaci di decongestionare la città nei periodi di maggiore intensità di frequenza. Si tratta dunque di un tratto considerevole di città, disponibile e pubblico, e dunque con delle potenzialità ancora inesprese in grado di offrire un sensibile contributo per la transizione verso processi di trasformazione sostenibili. Gli elementi costruiti potrebbero essere ricompresi e integrati all'interno di un sistema basato sull'utilizzo di 'tecnologie naturali' capaci di fornire un'infrastruttura a supporto dello sviluppo sociale ed economico. In tal senso, alcune strategie di adattamento ai cambiamenti climatici, e in particolare quelle basate sull'utilizzo di soluzioni nature-based (NbS), si dimostrano capaci di apportare benefici non solo per affrontare gli impatti degli eventi di natura climatica ma anche per aggiungere valore alla comunità (Molenaar et alii, 2021), migliorando le condizioni di benessere fisico e psicologico (Mosca et alii, 2019) grazie alle condizioni di comfort migliorato che generano.

La presenza variabile e stagionale di attività, attrezzature, mezzi di trasporto e non ultimo di persone suggerisce come questo spazio sia intrinsecamente predisposto ad accogliere utilizzi temporanei di varia natura e che di fatto possa essere considerato un ambito privilegiato su cui sperimentare nuove idee. I centri costieri del medio Adriatico hanno assunto configurazioni tali da risultare densamente occupati dal tessuto urbano e dalle infrastrutture e non avere lo spazio necessario per implementare efficaci misure di adattamento (Carter et alii, 2015). In questo senso la presenza del porto può essere considerata come un'opportunità strategica da utilizzare e mettere al servizio della collettività per realizzare quella 'riapertura' della città al mare, invocata ormai da molto tempo (Talia, 2019). Inoltre, la superficie 'impermeabile' asfaltata può essere ripensata e trasformata in un sistema adatto a controllare il regime delle acque piovane e contribuire alla riduzione della vulnerabilità agli eventi climatici attraverso installazioni di misure NbS (Langenheim et alii, 2020).

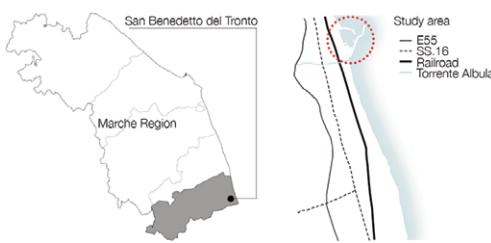
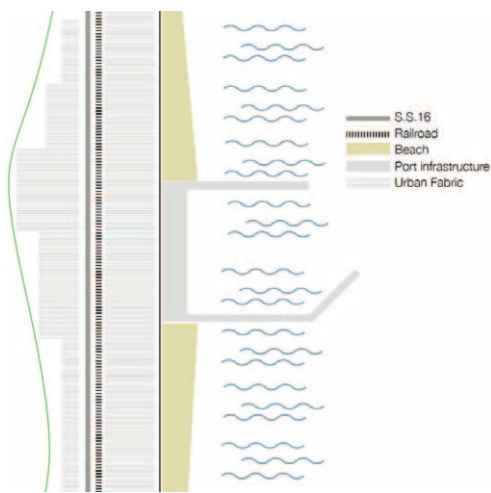
Un altro elemento da tenere in considerazione è che la popolazione costiera aumenta in modo significativo durante i mesi estivi e dunque la funzionalità dei porti, con una prevalenza d'uso durante l'estate, risulta fortemente condizionata dalle stagioni, quindi dal clima. Proprio in questo periodo si evidenziano le maggiori criticità legate al discomfort causato dal prolungamento delle temperature più elevate anche nei mesi considerati attualmente di 'transito stagionale'. Da questo punto di vista il rapporto ISPRA (2019) conferma un costante aumento delle temperature, individuando nel 2019 il terzo anno più caldo dal 1961, dopo il 2018 e il 2015. Nei paragrafi successivi si evidenzia con maggiore precisione come la superficie asfaltata e la mancanza di verde all'interno delle aree portuali incida fortemente sul clima, provocando un effetto isola di calore.

Inoltre l'utilizzo di una serie di dati specifici estrapolati dal progetto INTERREG Italia-Croazia Joint SECAP (Joint\_SECAP team, 2021), e in particolare quelli riferiti ai rischi e alle vulnerabilità<sup>2</sup> della città del medio Adriatico italiano nei periodi caldi, consente di avere un quadro aggiornato (Brownlee et alii, 2022). Gli effetti del cambiamento climatico si manifestano a partire da una serie di eventi che, agendo in combinato con i fattori di vulnerabilità ed esposizione specifici del territorio, determinano degli impatti e conseguentemente dei rischi per persone, attività economiche, ecosistemi, strutture e trasporti. Le analisi condotte nei territori del medio Adriatico restituiscono dunque un quadro in evoluzione in cui gli eventi e i rischi legati al cambiamento climatico sono sempre più diffusi e in crescendo (Tab. 1).

Nello specifico la città portuale di San Benedetto del Tronto, situata lungo la costa adriatica meridionale delle Marche, con 47.500 abitanti ha acquisito negli anni sempre maggiore valore strategico per il suo indotto turistico nella stagione estiva e può considerarsi uno dei più noti e apprezzati centri balneari italiani, e di conseguenza soggetta a intensi fenomeni di variabilità della pressione antropica. Come numerose cittadine di dimensioni analoghe poste lungo la costa del medio Adriatico e dotate di porto per attività turistiche e di pesca industriale, San Benedetto è attraversata dalle infrastrutture varie dell'autostrada adriatica, della Strada Statale 16 e della ferrovia, che hanno prodotto uno sviluppo urbano longitudinale alla costa. L'assetto territoriale della città è inoltre caratterizzato dalla presenza del torrente Albula che suddivide il lungomare (Fig. 3).

Come emerge dalla Figura 4, la quasi totalità delle superfici di calpestio è in asfalto, a basso coefficiente di albedo<sup>3</sup>. Le pareti degli edifici sono generalmente in laterizio intonacato o in pannelli sandwich, ad eccezione delle tensostrutture, presenti nella parte sud, chiuse con teli di PVC di colore bianco. Le coperture, generalmente, sono piane con guaina bituminosa o pannelli sandwich. Nell'area portuale la presenza di aree verdi è minima, pressoché concentrate in un ambito a ridosso dell'area portuale, come evidenziato nella Figura 5, e questo determina una presenza molto ridotta di aree permeabili, configurando l'intera zona come ad elevata impermeabilità, con le relative conseguenze sulla vivibilità dell'ambiente.

Nelle analisi ante operam inoltre (Fig. 6), gli ambiti portuali sono connotati da una estesa esposizione alla radiazione solare, dalla pressoché assenza di specie arboree e dalla presenza di materiali con un basso indice di albedo, attributi che, come noto, contribuiscono a rendere gli spazi aperti del porto inospitali e poco confortevoli. Tali dati di analisi, uniti a quelli riferiti ai rischi legati al cambiamento climatico in atto nelle aree costiere del medio Adriatico, riportano l'attenzione sull'urgenza di intervenire rapidamente nelle porzioni di città a ridosso dei porti così come in altre aree con analoghe caratteristiche.



**Fig. 1** | Homogeneous settlement morphotypes are a common feature of Middle Adriatic port cities (credit: the Authors, 2022).

**Fig. 2** | Mid-Adriatic port cities studied (credit: the Authors, 2022).

**Fig. 3** | Geographical structure of the city of San Benedetto del Tronto (credit: the Authors, 2022).

Il focus del presente studio si concentra prevalentemente sulle famiglie di eventi che si manifestano nei periodi caldi e che hanno a che fare con l'aumento delle temperature, l'isola di calore urbano, il numero di giorni consecutivi in assenza di precipitazioni in combinato con le temperature elevate, ma anche eventi di precipitazioni estreme e grandine. Come già segnalato, è durante il periodo estivo che si concentra la massima pressione antropica derivante dalla presenza dei turisti, ma è anche in questo periodo che la città ha maggior bisogno degli spazi aperti e delle attrezzature che ne migliorino l'utilizzo.

**Ipotesi meta-progettuali di micro-forestazione**

Lo studio individua una serie di azioni meta-progettuali basate sull'ipotesi di trasformazione leggera di una parte di area demaniale dell'infrastruttura portuale, attraverso interventi di micro-forestazione urbana (Fig. 7). Tali sperimentazioni progettuali suggeriscono possibili misure strutturate sull'opportuna collocazione di micro-innesti vegetali orizzontali e verticali, su interventi al suolo e sulla gestione delle acque, elaborate a seguito di analisi delle caratteristiche urbane e di una valutazione dei dati ambientali e microclimatici dell'area. È noto che il rapporto che si instaura tra la presenza della natura in ambito urbano, la salute mentale e fisica e il benessere dell'uomo è una relazione complessa che opera attraverso numerosi orizzonti su cui la letteratura scientifica si sta interrogando: è dimostrato ad esempio che le NbS possono essere un modo per rendere le nostre città luoghi più a misura umana e decisamente più sani (McDonald and Beatley 2021; Langenheim et alii, 2020). La micro-forestazione, pur condividendo innumerevoli potenzialità con le famiglie di interventi NbS più strutturati come la forestazione urbana (Musco, 2018) presenta, rispetto a esse, alcuni vantaggi che la rende più agevolmente attuabile, grazie a tempistiche più rapide, richiesta di spazi più circoscritta, manutenzione ridotta, minori costi di esercizio ed eventuale reversibilità. Le azioni di micro-forestazione, considerate dunque come 'NbS agili', possono fornire soluzioni innovative e agevolare i processi di transizione verso la sostenibilità urbana (Frantzeskaki and Rok, 2018; Nesshöver et alii, 2017).

L'inserimento di installazioni leggere, spesso temporanee, caratterizzate dalla presenza del verde si è già dimostrato efficace in molteplici contesti, sia nel migliorare le condizioni di comfort e fruibilità dello spazio sia nel fornire attività per la comunità: the Green Cloud Project a Shenzhen ad esempio (Qiang and Yu, 2019), o l'installazione nel Courtyard City Hall nella città di Pozan realizzata nel 2016 dall'Atelier Starzak Strebicki possono in tal senso essere considerati un modello. Altre esperienze internazionali, come il Paddington Floating Pocket Park a Londra del 2018, o la sperimentazione proposta nel 2020 da Marshall Blecher and Studio Fokstrot, a Copenhagen, suggeriscono come gli spazi urbani a ridosso dei porti e dei canali siano predisposti a sperimentazioni architettoniche finalizzate a migliorarne la fruibilità.

Le azioni proposte di seguito hanno anche l'obiettivo di validare una metodologia progettuale per la definizione di un sistema ambientale complesso, basato sull'ipotesi di 'agganciare' le trasformazioni a una infrastruttura preesistente e

diffusa come quella portuale, stratificando il sistema del porto attraverso interventi più o meno puntuali e basati sull'inserimento di dispositivi verdi di varia natura. In questo senso le azioni proposte possono dimostrarsi efficaci anche nel riempire quel gap più volte messo in evidenza dalla letteratura e che riguarda il divario tra le politiche finalizzate a individuare misure e strategie di adattamento e la loro effettiva implementazione (Rosi, 2019; De Pascali and Bagaini, 2021).

I criteri e gli indicatori che consentono di valutare l'efficacia delle azioni proposte si basano sulla valutazione degli indici di comfort percepito (Predicted Mean Vote – PMV; Fanger, 1970; Jendritzky, Maarouf and Staiger, 2001) per scenari rappresentativi attuali (ante operam) e gli scenari di progetto (post operam). Gli scenari post operam illustrati in Figura 8 permettono di valutare l'azione di mitigazione climatica degli interventi di microforestazione, attraverso la valutazione dell'indice adimensionale PMV in un range di variabilità -3/3, rispettivamente sensazione di 'molto freddo' e sensazione di 'molto caldo', e l'aumento di permeabilità dei suoli e delle superfici edificate trattate a verde, attraverso un indicatore di superficie espresso in metri quadri.

Le azioni individuate nascono, oltre che dalla valutazione dei fattori di vulnerabilità ed esposizione dello spazio urbano del porto, come già esposto, anche da esigenze di natura spazio-funzionale strutturate sull'idea di utilizzare la banchina come area di sosta per i pedoni, come infrastruttura ciclo-pedonale protetta e dotata di elementi temporanei, leggeri, stagionali e reversibili, che rendano il porto una nuova centralità urbana. Gli interventi, schematizzati attraverso quattro tipologie di azioni, prevedono sempre una sostanziale riduzione delle superfici impermeabili e la loro riconversione in elementi con caratteristiche termofisiche più adatte al contesto e in grado di gestire più efficacemente il rapporto con la radiazione solare e la regimazione delle acque. Le quattro meta-azioni restituite in Figura 7 sono integrabili tra loro e possono essere così descritte:

- 1) Linear: sistema che individua una fascia a larghezza più o meno contenuta e sviluppata parallelamente allo sviluppo longitudinale del porto, basata sulla creazione di superfici permeabili o interventi di de-sealing, l'inserimento di formazioni arboree e arbustive lineari strutturate secondo filari di essenze, siepi, pareti verdi, green wall, pergole lineari verdi, piantumazioni lungo gli assi portuali;
- 2) Surface: sistema che individua un'area basata sulla creazione di superfici permeabili o interventi di de-sealing, la realizzazione di aree di prato verde, prato fruibile, verde carrabile, verde pensile in quota, micro-aree boschive, tetti verdi, tappeti di erbacee perenni, orti, arbusti tappezzanti, ecc.; parte della superficie può essere trattata per il controllo del flusso dell'acqua meteorica e al suo temporaneo stoccaggio superficiale;
- 3) Spot: sistema che prevede la creazione di piccole superfici diffuse che stratificano l'infrastruttura portuale attraverso delle superfici permeabili o micro-interventi di de-sealing e il conseguente inserimento di essenze arboree; le azioni puntuali prevedono pocket garden, balconi verdi, green corner, piantumazioni isolate che non formino green canopy, ecc.;

4) Buffer: sistema che si basa principalmente sull'individuazione di superfici verdi schermanti in grado di configurare degli spazi aperti in modalità 'protetta', a supporto delle attività temporanee stagionali; le azioni di microforestazione sono utilizzate come strumento di mediazione termodinamica e creano delle zone di filtro climatico che permettono di modulare la variazione della temperatura esterna (gradiente termico); esse prevedono utilizzo di zone tampone o schermo attraverso piantumazioni, quinte verdi, stanze verdi, etc.

**Metodologia e fasi** | La complessità del sistema portuale richiede un approccio metodologico transdisciplinare, capace di studiare micro-climaticamente gli spazi aperti, interpretare il rapporto tra lo spazio aperto e la presenza del costruito molto spesso costituito da elementi prefabbricati a uso industriale, lavorare sulle superfici orizzontali con azioni di de-sealing in modo da tradurre l'impianto del waterfront in elemento di mediazione termodinamica, sfruttando per esempio l'azione evapotraspirativa del verde, quella di permeabilità dei materiali naturali, quella retroriflessiva delle superfici fredde e la capacità di ombreggiamento delle superfici orizzontali di copertura. È possibile agire all'interno di queste aree collocando opportunamente dei micro-innesti orizzontali e verticali previa accurata individuazione delle aree di intervento a seguito di una lettura delle caratteristiche urbane e una dettagliata valutazione dei dati ambientali e microclimatici delle aree portuali.

Questo processo consente un potenziamento dell'azione di de-impermeabilizzazione in situazioni di elevata densità del costruito con conseguenze benefiche in termini di miglioramento del comfort urbano e qualità della vita. Le metodologie di studio e analisi traducono la complessità dell'interfaccia città-porto secondo azioni lineari, puntuali o areali, configurate in modo da non alterare il metabolismo del waterfront, riconoscendo il ruolo e la funzione di tutti gli aspetti morfologici, materici, ambientali e climatici del sistema costiero.

La complessità ambientale oggetto di studio suggerisce l'utilizzo di un sistema parametrico che permetta di 'associare funzionalmente' le caratteristiche materiche, meteorologiche e morfologiche in una piattaforma che, dinamicamente, coniuga le parti restituendo una visione 'complessiva' di un problema 'complesso'. Gli strumenti di simulazione utilizzati prevedono l'implementazione della piattaforma parametrica in un ambiente di sviluppo software che, generando algoritmi proprietari, consente di avere un controllo ricorsivo su ogni aspetto del processo. Le azioni di micro-forestazione impiegate permettono di intervenire strategicamente nei punti che evidenziano maggiori criticità ambientali, analizzando i parametri fisici del luogo e le caratteristiche percettive dei fruitori attraverso la valutazione dell'indice di comfort ambientale PMV (Predicted Mean Vote) secondo la normativa UNI EN ISO 7730:2006 (Ergonomia degli ambienti termici – Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale).

I metodi descritti sono utili a stimare la sen-

| Hazards family   | Related Impact family   | Related Risk family   |
|--|---|---|
| Extreme precipitation events<br>Hailstorms   | Flooding (river, urban and coastal)<br>Excessive runoff<br>Landslides and instability phenomena | Damage to people and urban structures, activities, energy production and transportation |
| Rise in water level  | Flooding (coastal)<br>Coastal erosion   | Damage to agriculture, people, activities, tourism                                      |
| Consecutive dry days<br>Dry period with high temperatures<br>Mean of annual precipitations | Droughts<br>Increase of fires   | Damage to activities, people, health and transportation                                 |
| Extreme heat<br>Higher average temperature<br>Mean of annual precipitations                | Alteration of ecosystems  | Damage to agriculture, tourism, health  |

**Tab. 1** | Data extracted from the impact chains of the Joint\_SECAP project partners and re-elaborated by the authors (credit: the Authors, 2022).

sazione di benessere termico locale, fortemente condizionato da una serie di fattori legati all'ambiente antropizzato. Le meta-azioni progettuali sono state applicate all'area di studio e possono risultare maggiormente efficaci in funzione del bilanciamento delle caratteristiche dello spazio costruito, della sua matericità, dell'integrazione con il verde e del rapporto geometrico-dimensionale con lo spazio aperto. Indagare, attraverso l'ambiente virtuale, i fenomeni naturali implica l'adozione di una corretta e coerente semplificazione della complessità urbana al fine di mantenere un flusso di lavoro scorrevole senza compromettere la qualità dei risultati. A tale scopo sono stati messi a sistema diversi software gestiti in un'unica piattaforma Grasshopper che permette lo sviluppo di processi dedicati all'analisi microclimatica dalle fasi di sviluppo del concept fino alla validazione delle azioni progettuali attuate con l'ausilio di un software CFD.<sup>4</sup>

La metodologia utilizzata è segmentata in diverse fasi propedeutiche che partono dallo studio delle caratteristiche climatiche del sito in una finestra temporale di almeno cinque anni per disegnare un profilo climatico adatto a rappresentare le condizioni ambientali di contorno attraverso la valutazione del giorno rappresentativo. Il giorno rappresentativo (Tirabassi and Nasseti, 1999) è un indicatore meteorologico sintetico rappresentato da un giorno reale in grado di descrivere le condizioni meteorologiche estive per l'area di studio e valutato attraverso un algoritmo proprietario (Cocci Grifoni et alii, 2012). Nelle Figure 9 e 10 sono rappresentati gli andamenti annuali della temperatura e del rapporto umidità/copertura nuvolosa, mentre le Figure 11 e 12 rappresentano le crono-mappe di temperatura e di umidità che mostrano anche il variare della direzione e intensità del vento durante lo scenario rappresentativo.

Sequenzialmente è importante adattare le condizioni climatiche così ottenute alla macro-scala a un contesto urbano localizzato (micro-scala) con strumenti di analisi termofluidodinamici definen-

do lo stato ante operam. Le meta-azioni progettuali sono state modellate e introdotte nell'area di studio per definire lo stato post operam; i risultati intermedi ottenuti in questa fase sono funzionali all'applicazione di strategie site-specific allo scopo di migliorare le condizioni di partenza. Le ipotesi meta-progettuali sono state verificate applicando le stesse condizioni ambientali (definite dal profilo climatico nello scenario rappresentativo) in modo da poter confrontare tra loro i risultati ottenuti con lo stato ante operam.

La metodologia prevede una reiterazione di quest'ultima operazione al fine di correggere e ottimizzare o, in estrema ipotesi, escludere le soluzioni proposte se non rispondenti alle aspettative: applicando variazioni quantitative degli elementi che caratterizzano una determinata meta-azione è possibile ottenere un diverso riscontro prestazionale in termini di comfort: un workflow esemplificativo è mostrato in Figura 13. L'utilizzo di modelli con un livello di dettaglio sufficientemente fine permette in fase di verifica una lettura attenta dei risultati. L'applicazione di tali misure presuppone l'apporto di benefici ambientali come la riduzione del rischio di inondazione e delle isole di calore urbano, il miglioramento del microclima e la tutela della biodiversità, ma anche socioeconomici, incidendo direttamente sul benessere e sulla salute dei cittadini e sul miglioramento della qualità estetica dei luoghi (McDonald and Beatley 2021; Città Metropolitana di Milano, 2020).

**Risultati e discussione** | I risultati esposti sono frutto del processo metodologico adottato. Al fine di esplicitare efficacemente la qualità delle meta-azioni progettuali analizzate, le visualizzazioni elaborate attraverso le Figure 6 e 8 mostrano la distribuzione nell'area dell'indice di comfort PMV in uno dei casi studio ovvero la meta-azione Linear. Il comfort è un dato che sintetizza in un unico valore adimensionale temperatura dell'aria, temperatura media radiante, umidità dell'aria e velocità del vento. L'indice PMV descrive lo



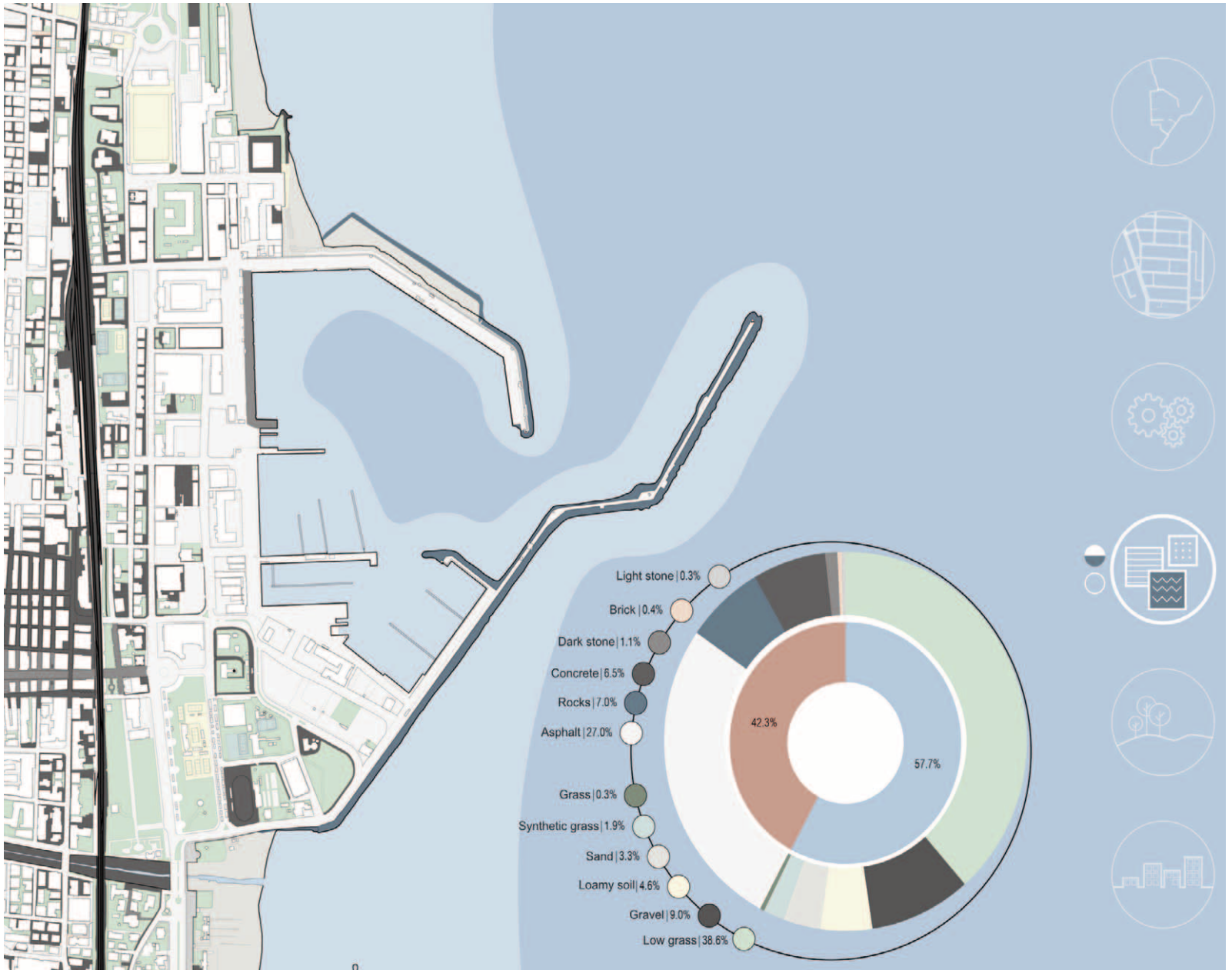


Fig. 4 | San Benedetto del Tronto port area: soil materials and permeability (graphic processing by E. Ciavatta, G. Cicconi and S. Parnenzini, 2020).

stato di comfort con un punteggio tanto più ideale quanto più prossimo allo zero. L'operazione di downscaling effettuata mostra una diminuzione del valore in una finestra che varia da circa 0,30 a 0,50.

Nella Tabella 2 sono mostrati alcuni risultati significativi dalla simulazione; migliorare lo stato di comfort nello scenario rappresentativo caldo ha un potenziale effetto positivo estendibile all'intera stagione. Questa diminuzione mostra l'efficacia di una progettazione architettonica che procura spazio all'utilizzo del verde come strumento di mitigazione e regolazione del microclima. Gli effetti benefici di questi risultati facilitano la fruizione degli ambienti esterni trascinandoli da una condizione di alto discomfort a una condizione più confortevole. L'analisi dei risultati basati su un campionario di meta-soluzioni può dare origine a varie interpretazioni dello spazio antropizzato da parte dei progettisti, i quali possono concettualizzare modelli innovativi con la consapevolezza delle ripercussioni che le proprie azioni progettuali possono avere sullo spazio.

**Conclusioni** | Il contributo fornisce set di possibilità di intervento leggero per la valorizzazione e il recupero degli spazi aperti vulnerabili non solo delle aree portuali, ma di tutte quelle città costiere che, chiamate a processi di rigenerazione urbana, possono, attraverso essi, muovere il primo passo verso interventi successivi più strutturati o con finanziamenti o sviluppi applicativi di lunga durata. In questo senso il focus introdotto dall'articolo fornisce un contributo rispetto a un tema ampio e trans-disciplinare come quello dell'adattamento ai cambiamenti climatici che, vista la sua natura multi-sfaccettata, necessita di essere indagato in tutte le sfere della sua complessità. In tal senso, l'approccio basato sull'utilizzo di interventi di micro-forestazione urbana si configura come una possibilità concreta che consente una fruizione migliorata degli spazi aperti urbani soggetti agli effetti del cambiamento climatico.

Oltre che ulteriori approfondimenti da parte della comunità scientifica si rende necessario mettere in pratica alcuni di questi interventi per mo-

nitorarne gli esiti tramite rilievi dal vero e interviste sistematiche alla comunità locale. Lo studio andrebbe inoltre supportato da indicazioni riguardanti gli assetti sociali ed economico-amministrativi delle aree portuali, indicazioni ritenute strategiche per le azioni proposte. In tale direzione spinge anche l'istituzione da parte del Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili del Tavolo del mare avvenuta il 20 dicembre 2021, «[...] per aprire un confronto permanente con le associazioni di categoria e sindacali e approfondire temi generali e specifici che riguardano i porti e la loro sostenibilità economica, sociale e ambientale» (MIMS, 2021). Tra i vari obiettivi, come ambito su cui ottenere un impatto significativo e nella direzione della transizione ecologica, il PNRR cita il sistema portuale.

Many of the recent Euro-partnership policies aimed at countering the effects of climate change and encouraging the identification of adaptation mea-

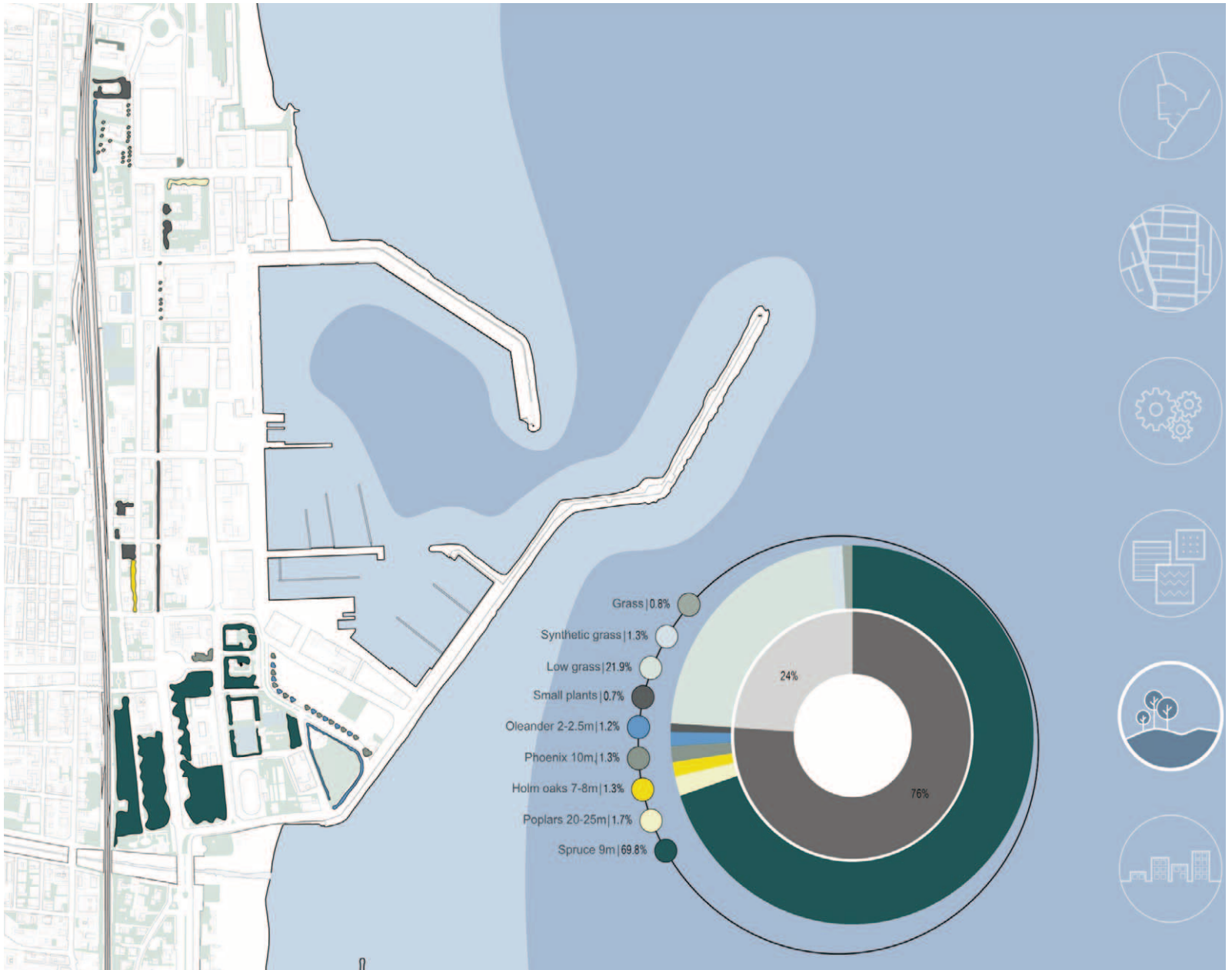


Fig. 5 | San Benedetto del Tronto port area, vegetation and tree height (graphic processing by E. Ciavatta, G. Cicconi and S. Parmenzini, 2020).

sures focus on the Mediterranean coastal territories, one of the most sensitive regions to global warming (Guida, 2021). The Mediterranean is a relative circumscribed sea with few connections to other basins; as it is shallow, its waters tend to warm faster than those of the oceans, so much so that the temperature of surface waters can rise by up to 2 °C more than in historical records. A combination of two phenomena, heating of the air masses at high atmospheric altitudes and a gradual and continual reduction of the temperature gradient between the land and the sea caused by the heating of the Mediterranean, which is 20% higher than the world average. The result is a general drying up of the neighbouring territories, such that the entire area is considered a hotspot (Tuel and Eltahir, 2020).

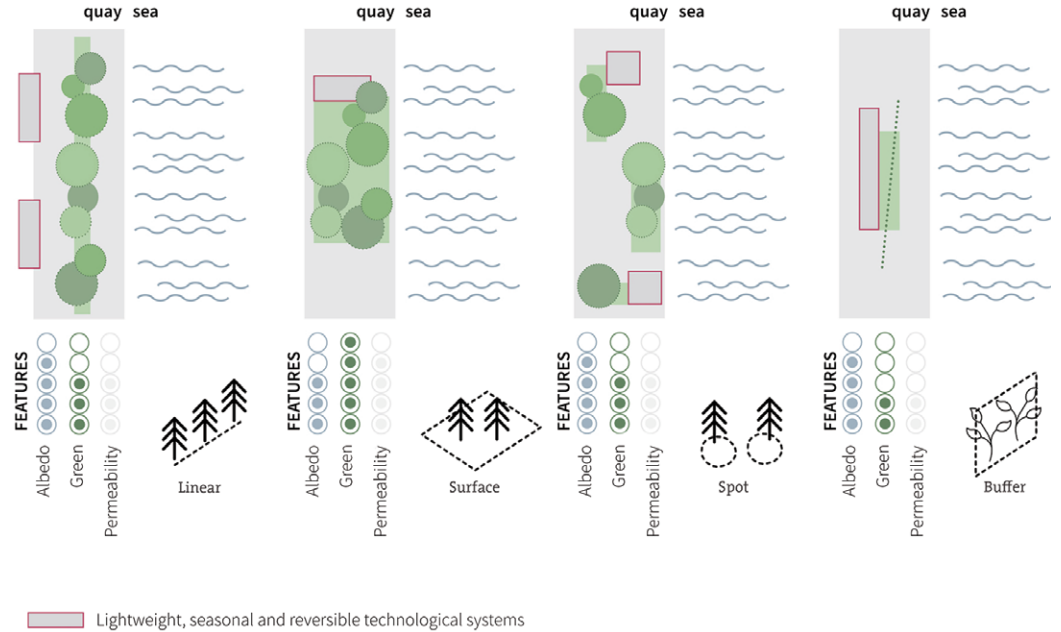
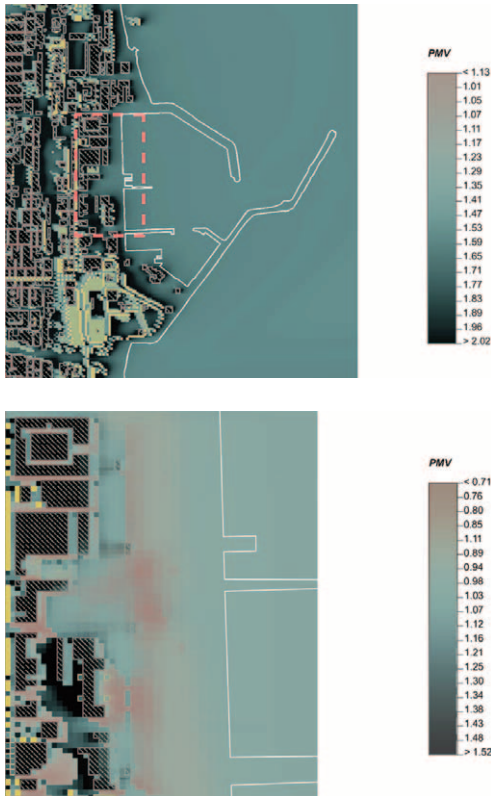
The open spaces of coastal cities in the Mediterranean Sea denote increasing vulnerability to climate change showing to be particularly vulnerable to rising temperatures and consequently to flooding and urban heat island (Matos Silva, 2019; de Graaf-van Dinther and Ovink, 2021). These ef-

fects, combined with the high fragmentation of green spaces and high land consumption that is particularly evident in coastal cities (ISPRA, 2019), impact the well-being of citizens and quality of life. (Tucci et alii, 2020). In this scenario, minor ports in the mid-Adriatic area, located in a homogeneous area of settlement morphotypes (Fig. 1) with widespread tourism and fishing facilities offering a wide range of berths and port equipment (Talia, 2019), are critical areas of strategic interest. The focus is particularly on the ports located near the population centres of some cities in the Marche and Abruzzo regions – Pesaro, Fano, Senigallia, Numana, Civitanova Marche, San Benedetto del Tronto, Giulianova, Ortona and San Salvo Marina<sup>1</sup> (Fig. 2) – as climatically fragile areas and potential engines supporting local economic and tourism growth.

This contribution illustrates how through a meta-design methodology relying on urban micro-forestry, environmental regeneration of the Adriatic coastal system is possible to use the port areas located within the city to: 1) limit the effects

of urban heat, especially in summer; 2) reinsert the ports within the urban system as attractive areas for citizens and tourists, as parts of the city with a high potential for use; 3) reduction of abandonment and increase the comfort and safety of portions of the city that in the winter season are hardly lived in and neglected. Specifically, the study aims to identify tools to support the environmental activation and regeneration of the open space of the Middle Adriatic ports.

The document is structured as follows 1) the first part focuses on the presentation of the morphological and climatic-environmental aspects shared by the minor Adriatic ports, developing a specific focus on the San Benedetto del Tronto port study area; 2) following the previous data, it illustrates the micro-forestation meta-project hypotheses that identify different scenarios; 3) afterwards, we present the methodology to evaluate the post-opera impacts in terms of contrasting the urban heat island and improving the environmental comfort of the port area; 4) in the final part, general recommendations and sug-



**Fig. 6** | Comforts split in the port area on the representative day of the hot scenario (graphic processing by E. Ciavatta, G. Cicconi and S. Parmenzini, 2020).

**Fig. 7** | Four project meta-actions: Linear, Surface, Spot e Buffer (credit: the Authors, 2022).

**Fig. 8** | Comfort level of the design status in the port area on the day representing the hot scenario (graphic processing by E. Ciavatta, G. Cicconi and S. Parmenzini, 2020).

gestions open the way to further developments (Fig. 3).

**Features of minor ports in the Mid-Adriatic** | Analysis of current port areas (Ottone and Cocci Grifoni, 2021) highlights some preliminary considerations to identify strategic and planning opportunities. The existence of vast empty areas close to city centres makes these spaces particularly suitable for urban regeneration, ‘green densification’ and seasonal activities, which can also benefit the tourist offer and reduce urban congestion during the most crowded periods. Thus, it is a significant part of the city, available to the public, and offers considerable potential to make a difference in the transition to sustainable transformation processes. Building elements might be part of a system involving natural technologies to provide a building for social and economic development. Climate change adaptation strategies, particularly those using nature-based solutions (NBS), bring benefits in dealing with the impacts of climate events and adding value to the community (Molenaar et alii, 2021). By improving physical and psychological well-being (Mosca et alii, 2019) due to the comfort improvements they generate.

The seasonal and variable presence of activities, equipment, transportation and, not least, people suggests how this is an area naturally prepared to accommodate temporary uses of different kinds, indeed may be considered a favourite area in which to experiment with new ideas. Coastal locations in the mid-Adriatic region take on such configurations that they are densely occupied by urban fabric and infrastructure and lack the space necessary to implement effective adaptation measures (Carter et alii, 2015). In this sense, having a port might be considered a strategic opportunity to use and put at service of the community to achieve that long-awaited ‘reopening’ of the city

to the sea (Talia, 2019). In addition, the ‘impermeable’ surface of asphalt would need redefining and transforming into a suitable system to control the rainwater regime contributing to the reduction of vulnerability to climate events through the installation of NbS measures (Langenheim et alii, 2020).

A further aspect to consider is that the coastal population increases significantly during the summer months. The functionality of ports, which are mainly in use during the summer, is strongly affected by seasonal weather conditions. In this period, the most critical issues related to discomforts due to the prolongation of higher temperatures are highlighted, even during months currently considered as ‘seasonal transit’. The IS-PRA annual (2019) confirms a constant increase in temperatures, identifying 2019 as the third hottest year since 1961, after 2018 and 2015. In the following paragraphs, we highlight with more precision how the asphalt surface and the lack of greenery in port areas strongly affect the climate, causing an urban heat island effect.

In addition, the use of a series of specific data extrapolated from the INTERREG Italia-Croazia Joint SECAP project (Joint\_SECAP team, 2021), and in particular those referring to the risks and vulnerabilities<sup>2</sup> of the Italian mid-Adriatic cities during hot seasons, provides an updated picture (Brownlee et alii, 2022). The effects of climate change arise from events that, acting in combination with the specific vulnerability and exposure factors of territory, determine impacts and risks for people, economic activities, ecosystems, structures and transport. The analysis carried out in the Middle Adriatic territories shows an evolving picture in which the events and risks linked to climate change are incrementally more widespread (Tab. 1).

Specifically, the port city of San Benedetto del Tronto, located on the southern Adriatic coast of the Marche region, with 47,500 inhabitants, has

acquired over the years an increasing strategic value for its tourist induced activities in the summer season and can be considered one of the most well-known and appreciated Italian seaside resorts, and therefore subject to intense phenomena of varying anthropic pressure. Like many similarly sized towns along the mid-Adriatic coast with a port for tourist activities and industrial fishing, San Benedetto is crossed by the road infrastructure of the Adriatic motorway, the State Road 16 and the railway, which have produced an urban development longitudinal to the coast. The Albul torrent divides the waterfront in half and characterizes the territorial layout of the city (Fig. 3).

As Figure 4 shows, almost all the walking surfaces consist of asphalt, with a low albedo coefficient<sup>3</sup>. The walls of the buildings contain plastered brick or sandwich panels, except for the tensile structures in the southern part, closed with white PVC sheets. The roofs are generally flat with bituminous sheathing or sandwich panels. Green zones are minimal in the port area, concentrated in an area close to the port, as seen in Figure 5, determining a very reduced presence of permeable spaces, which makes the whole zone highly waterproof, with the relative consequences on the liveability of the environment.

Furthermore, in the ante operam analyses (Fig. 6), the harbour areas feature extensive exposure to solar radiation. The virtual absence of tree species and the presence of materials with a low albedo index are all attributes that, as we know, contribute to making the open spaces of the port unfriendly and uncomfortable. These analysis data, together with those referring to the risks of climate change in the coastal areas of the mid-Adriatic, draw attention to the urgent need for rapid intervention in those city port sections and other similar locations.

The present study focuses mainly on the families of events that occur during hot periods and

that have to do with rising temperatures, the urban heat island, the number of consecutive days without precipitation combined with high temperatures, and extreme precipitation events and hail. As already mentioned, during the summer period, the maximum anthropogenic pressure resulting from the presence of tourists arises, but this is also when the city has the greatest need for open spaces and facilities to improve their use.

**Meta-design hypotheses for micro-forestry |**

The study identifies a series of meta-design actions that focus on the possibility of a light transformation of a part of the port infrastructure through urban micro-forestry interventions (Fig. 7). These design experiments suggest possible measures structured on the appropriate placement of horizontal and vertical micro-vegetation, interventions on the soil and water management, elaborated following an analysis of the urban characteristics and an evaluation of the environmental and microclimatic data of the area. We know that the relationship between the presence of nature in the urban environment, mental and physical health and human well-being is complex. Operates across many different horizons that the literature is questioning: for example, there is evidence that NbS can be a way to make our cities more human-scale and decidedly healthier places (McDonald and Beatley 2021; Langenheim et alii, 2020). Microforestry, which shares countless potentials with more structured families of NbS interventions such as urban forestry (Musco, 2018), displays some benefits for them due to the demand for faster turnaround times for smaller spaces, reduced maintenance, lower management costs and possible reversibility. Micro-forestry actions, thus considered ‘agile NbS’, can provide innovative solutions and facilitate transition processes towards urban sustainability (Frantzeskaki and Rok, 2018; Nesshöver et alii, 2017).

Lightweight installations with greenery, often temporary, are already proving their effectiveness in many contexts, both in improving the comfort and usability of the area and in creating activities for the community: the Green Cloud Project in Shenzhen, for example (Qiang and Yu, 2019), or the installation in the Courtyard City Hall in the city of Pozan created in 2016 by Atelier Starzak Strebicki can be considered a model in this sense. Other international experiences, such as the Paddington Floating Pocket Park in London in 2018, or the experiment proposed in 2020 in Copenhagen and carried out by Marshall Blecher and Studio Fokstrot, suggest that urban spaces near harbours and canals are suitable for architectural experiments aimed at improving their usability.

Actions here proposed also aim to validate a design methodology for the definition of a complex environmental system, based on the hypothesis of ‘hooking’ the transformations to a pre-existing and widespread infrastructure such as the port, stratifying the port system through more or less punctual interventions based on the insertion of green devices of various kinds. In this sense, the proposed actions may also prove efficient in filling the gap identified in the literature, which concerns the gap between policies aimed at identifying adaptation measures and strategies and their actual implementation (Rossi, 2019; De Pascali and Bagaini, 2021).

The criteria and indicators for assessing the

effectiveness of the proposed actions rely on the evaluation of perceived comfort indices (Predicted Mean Vote – PMV; Fanger, 1970; Jendritzky, Maarouf and Staiger, 2001) for current representative scenarios (ante operam) and the project scenarios (post operam). The post operam scenarios in Figure 8 allow us to evaluate the climate mitigation action of the micro-forestry interventions through the evaluation of the dimensionless index PMV in a range of variability -3/3, respectively feeling of ‘very cold’ and ‘very hot’, and the increase of the permeability of soils and built-up areas with green treatment, through an area indicator expressed in square metres.

The actions identified derive from an evaluation of the vulnerability and exposure factors of the urban space of the port and the spatial-functional needs. The concept is to use the quay as a resting area for pedestrians, as a protected cycle-pedestrian infrastructure with temporary, light, seasonal and reversible elements, making the port a new urban centrality. The interventions, outlined through four types of actions, always foresee a substantial reduction of the waterproof surfaces and their reconversion into elements with thermo-physical characteristics better suited to the context and able to manage the relationship with solar radiation and water regulation more effectively. The four meta-actions shown in Figure 7 can integrate and describe themselves as follows:

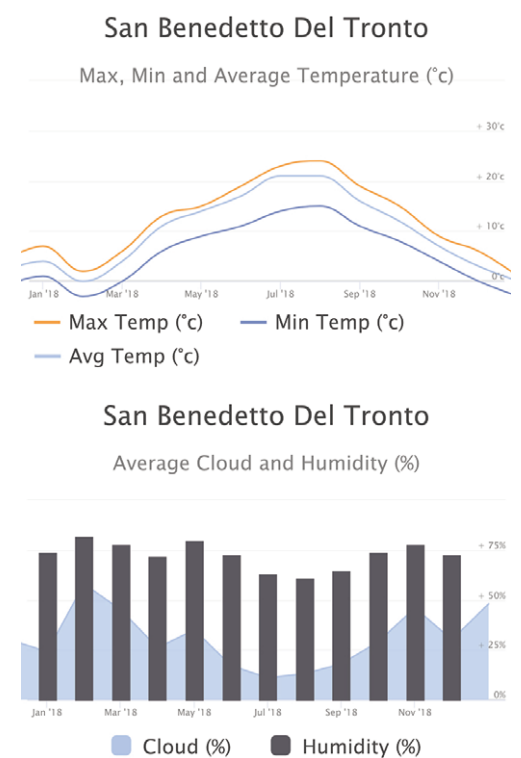
- 1) Linear: a system that identifies a strip with a more or less contained width and developed parallel to the longitudinal development of the port, based on the creation of surfaces with permeability or de-sealing interventions, the insertion of a linear tree and shrub formations structured according to rows of essences, hedges, green walls, linear green pergolas, planting along the port axes;
- 2) Surface: a system that identifies areas based on the creation of surfaces that can be permeated or de-sealed, the creation of areas of green lawns, usable lawns, green driveways, green roofs, micro-wooded areas, green roofs, carpets of herbaceous perennials, vegetable gardens, ground cover shrubs, etc.; part of the surface can deal with to control the flow of rainwater and its temporary surface storage;
- 3) Spot: a system that foresees the creation of small diffuse surfaces that stratify the port infrastructure through the use of porous surfaces or de-sealing micro-interventions and the consequent insertion of tree essences; the spot actions foresee pocket gardens, green balconies, green corners, isolated plantings that do not form green canopies, etc.;
- 4) Buffer: a system that relies mainly on the identification of green screening surfaces capable of configuring open spaces in a ‘protected’ mode, which supports temporary and seasonal activities; micro-forestry actions are used as a thermodynamic mediation tool and create climatic filter zones that allow modulating the variation of the external temperature (thermal gradient); they provide for the use of buffer or screen zones through plantings, green scenes, green rooms, etc.

**Methodology and phases |** The complexity of the port system requires a transdisciplinary methodological approach that analyses the microclimate of open areas and the relationship between open spaces and buildings, often pre-fabricated for in-

dustrial use. The approach works on horizontal surfaces with de-sealing actions to transform the waterfront system into a thermodynamic mediating element, exploiting, for example, the evapotranspiring action of greenery, the permeability of natural materials, the retro-reflective effect of cold surfaces and the shading capacity of horizontal roof surfaces. It is possible to act within these areas by appropriately placing horizontal and vertical micro-installations after an accurate definition of the areas requiring intervention after reading urban features and a thorough evaluation of the environmental and microclimatic data of the port areas.

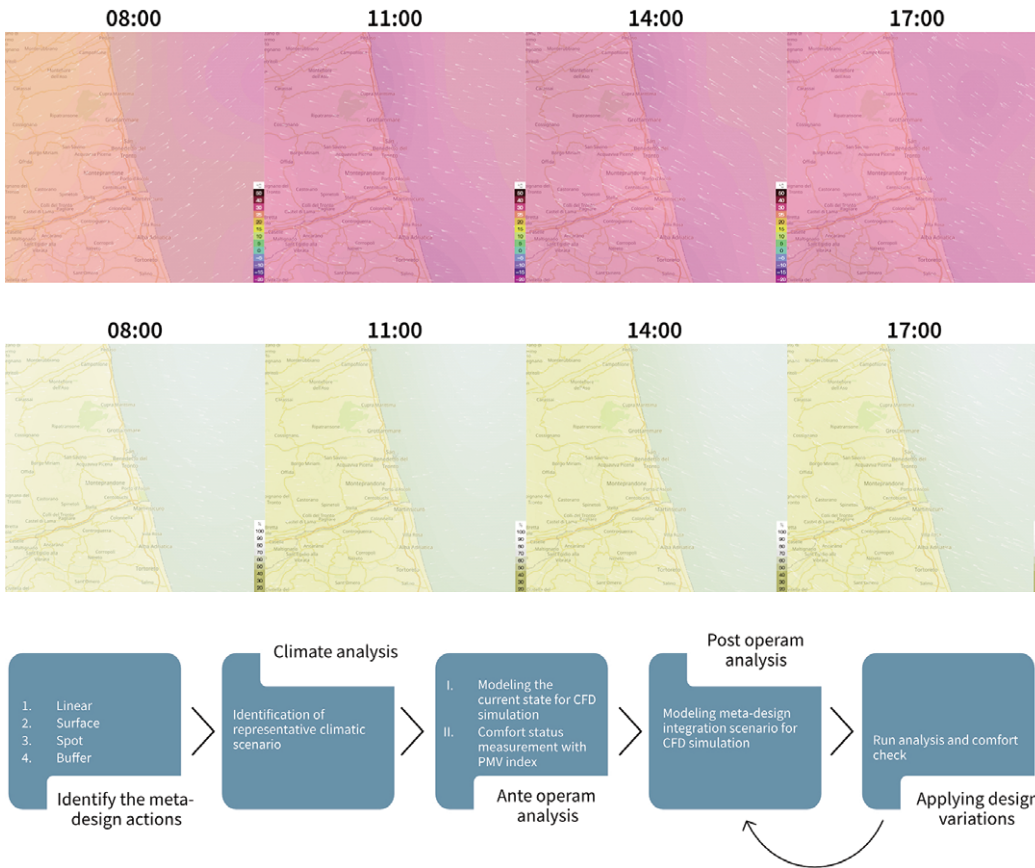
This process allows an increase of the de-waterproofing action in situations of high built density resulting in benefits in terms of improvement of urban comfort and quality of life. The study and analysis methodologies translate the complexity of the city-port interface according to linear, punctual or areal actions, configured so as not to affect the metabolism of the waterfront metabolism, recognizing the role and function of all morphological, material, environmental and climatic aspects of the coastal system.

The environment complexity understudy suggests a parametric system that allows the ‘functional association’ of material, microclimatic and morphological characteristics in a platform that dynamically combines the parts to provide an ‘overall’ view of a ‘complex’ problem. The simulation tools include the parametric platform implementation in a software development environment that, by creating proprietary algorithms, allows recursive control over every aspect of the process. The micro-forestry actions allow for intervention strategically in the points that highlight the most critical issues in the environment by analysing the physical parameters of the place and the perceptual char-



**Fig. 9 |** Annual temperature performance of San Benedetto del Tronto in 2018 (credit: the Authors, 2022).

**Fig. 10 |** Annual humidity/cloud performance of San Benedetto del Tronto in 2018 (credit: the Authors, 2022).



**Fig. 11, 12** | Representing temperature and wind on a typical day; Representing humidity and wind on a typical day (credit: the Authors, 2022).

**Fig. 13** | Workflow to explain the methodology (credit: the Authors, 2022).

| Time        | Air Temperature (°C) |       |       | Relative Humidity (%) |       |       | PMV  |       |       |
|-------------|----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|------|-------|-------|
|             | 8:00                 | 14:00 | 18:00 | 8:00                  | 14:00 | 18:00 | 8:00 | 14:00 | 18:00 |
| Ante operam | 19.6                 | 24.8  | 20.1  | 66.7                  | 69.7  | 70.3  | 0.7  | 1.5   | 1.1   |
| Post operam | 19.4                 | 24.8  | 20    | 67.3                  | 70.1  | 70.6  | 0.7  | 0.9   | 0.6   |

**Tab. 2** | Comparison of simulated data before and after applying one of the solutions (credit: the Authors, 2022).

acteristics of the users through the evaluation of the index of environmental comfort PMV (Predicted Mean Vote) according to UNI EN ISO 7730: 2006 (Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria).

The methods can help evaluate local thermal comfort since several factors related to the human environment strongly influence this. Design meta-actions varied in their application to the study area and were perhaps most effective depending on the balance of characteristics of the built space. Its materiality, integration with the green zones and geometric-dimensional relationship with the open space. Investigating natural phenomena through the virtual environment implies adopting a correct and coherent simplification of the urban complexity to maintain a smooth workflow without compromising the quality of the results. For this purpose, different types

of software have been set up and managed in a single Grasshopper platform that allows the development of processes dedicated to the microclimatic analysis from the concept development phases to the validation of the design actions implemented with the help of a CFD software.<sup>4</sup>

The method uses several preparatory phases that start from the study of the climatic characteristics of the site in a temporal frame of at least five years to draw a climatic profile suitable for representing the environmental boundary conditions by evaluating a typical day. This day (Tirabassi and Nasseti, 1999) is a synthetic microclimatic indicator consisting of a typical day that describes the summer weather conditions in the area under study using a proprietary algorithm (Cocci Grifoni et alii, 2012). Figures 9 and 10 show the annual temperature and humidity/cloud cover trends, whilst Figures 11 and 12 represent the temperature and humidity time-maps that also show the variation of wind direction and intensity during the scenario.

It is relevant to adapt the climatic conditions thus obtained at the macro-scale to a localized urban context (micro-scale) with thermo-fluid dynamics analysis tools defining the ante operam state. Meta-design hypotheses have been shaped and introduced into the study area to establish the post operam state. Intermediate results from this phase allow the application of site-specific strategies to improve the initial conditions. The meta-design hypotheses examine applying the same environmental conditions (defined by the climate profile in the reference scenario) to compare the results obtained with the ante operam state.

The methodology foresees a reiteration of this last operation to correct and enhance or, in extreme hypothesis, exclude the proposed solutions if they do not meet expectations. By applying quantitative variations of the elements that define a given meta-action, it is possible to obtain varying performance feedback in terms of comfort. Figure 13 shows an example workflow. The use of models with a high level of precision allows a careful reading of the results at the verification stage. The implementation of such measures presumes environmental benefits such as the reduction of flood risk and urban heat islands, the improvement of the microclimate and the protection of biodiversity, but also socio-economic benefits, directly affecting the well-being and health of citizens and the enhancement of the aesthetic quality of places (McDonald and Beatley 2021; Città Metropolitana di Milano, 2020).

**Results and discussion** | Results present the fruit of the adopted methodological process. To efficiently explain the quality of the project meta-actions understudy, the visualizations elaborated in Figures 6 and 8 show the area distribution of the comfort index PMV in the Linear meta-action, one of the case studies. Comfort is data that summarises in one dimensionless air temperature, average radiant temperature, air humidity and wind speed. The PMV index describes the state of comfort with a score that is all the more ideal as it is closer to zero. The downscaling operation conducted reveals a decrease in the value in a window ranging from approximately 0.30 to 0.50.

Table 2 shows some significant results of the simulation. Improving the comfort status in the representative warm scenario has a potentially positive effect spread over the whole season. This decrease shows the effectiveness of an architectural design which provides space to use greenery as an instrument of microclimate mitigation and regulation. The benefits of such results will facilitate the fruition of outdoor environments, transforming them from high discomfort to a more comfortable condition. The analysis of the results using a sample of meta-solutions may lead to several interpretations of the human space by designers, who may conceptualize new innovative models being aware of the impact their design actions may have on the space.

**Conclusions** | The document provides possibilities for light intervention to enhance and renew critical open spaces not limited to port areas. However, all coastal cities called urban regeneration processes can use them to take the first step towards more structured subsequent interventions or long-term funding or application development. The focus introduced by the arti-

cle is to contribute to a wide-ranging and trans-disciplinary issue such as climate change adaptation, which, due to its multi-faceted nature, needs research in all spheres of its complexity. In this sense, the urban microforestry approach is a practical possibility to improve the use of urban open spaces subject to climate change.

In addition to further investigation by the scientific community, it is necessary to put some of these interventions into practice to monitor their

outcomes through real-life surveys and systematic interviews with the local community. The study should also provide indications of the social and economic-administrative structures of the port areas, which are considered strategic for the proposed actions. The establishment by the Ministry of Infrastructure and Sustainable Mobility of the Table of the Sea on 20 December 2021 also pushes in this direction, to open a debate with trade associations and trade unions and to study in depth

general and specific issues concerning ports and they are economic, social and environmental sustainability (MIMS, 2021). Among other objectives, the NRRP mentions the port system as an area for significant impact and in the direction of ecological transition.

## Acknowledgements

The contribution is the result of a joint reflection of the authors. The introductory paragraph is by R. Cocci Grifoni and M. F. Ottone, the one entitled 'Features of minor ports in the mid-Adriatic' is by T. D. Brownlee and R. Cocci Grifoni, 'Meta-design hypotheses for micro-forestation' is by T. D. Brownlee and R. Cocci Grifoni, 'Methodology and phases' by G. E. Marchesani, 'Results and discussion' by T. D. Brownlee and G. E. Marchesani, while the paragraph 'Conclusions' is by all authors. Brownlee and Cocci Grifoni carried out the general supervision of the article.

## Notes

1) It refers particularly to ports in category II and of predominantly regional competence, according to art. 4 of Italian Law 84/1994.

2) Background data is available in the deliverable D.3.2.2 – 'Risk and vulnerability analysis of the INTERREG Joint\_SECAP project target areas'; more information at the website: joint-secap.unicam.it [Accessed 15 March 2022]. The Project was coordinated by UNICAM and ran from 2019 to 2021 through a network of eight Italian and Croatian partners who identified at least one target area where they intend to carry out the study in collaboration with local institutions and with the aim of identifying joint adaptation measures.

3) Albedo is defined as the ratio of the intensity of the radiation reflected by a body to the total incident radiation intensity.

4) For further information, visit the website: envi-met.com [Accessed 15 March 2022].

## References

Brownlee, T. D., Camaioni, C., Magaudda, S., Mugnoz, S. and Pellegrino, P. (2022), "The INTERREG Italy-Croatia Joint\_SECAP Project – A Collaborative Approach for Adaptation Planning", in *Sustainability*, vol. 14, issue 1, 404, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su14010404 [Accessed 15 March 2022].

Carter, J. G., Cavan, G., Connelly, A., Guy, S., Handley, J. and Kazmierczak, A. (2015), "Climate change and the city – Building capacity for urban adaptation", in *Progress in Planning*, vol. 95, pp. 1-66. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.progress.2013.08.001 [Accessed 15 March 2022].

Città Metropolitana di Milano (2020), "Metro Adapt Platform – Strategie e misure di adattamento al cambiamento climatico nella Città Metropolitana di Milano", in *cittametropolitana.mi.it*, 24/02/2020. [Online] Available at: cittametropolitana.mi.it/Life\_Metro\_Adapt/index.html [Accessed 15 March 2022].

Cocci Grifoni, R., Pierantozzi, M., Tascini, S. and Passerini, G. (2012), "Assessing the representativeness of thermal comfort in outdoor spaces", in Pacetti, M., Passerini, G., Brebbia, C. A. and Latini, G. (eds), *Sustainable City*, vol. VII, pp. 835-846. [Online] Available at: doi.org/10.2495/SC120702 [Accessed 15 March 2022].

de Graaf-van Dinther, R. and Ovink, H. (2021), "The Five Pillars of Climate Resilience", in de Graaf-van

Dinther, R. (ed.), *Climate Resilient Urban Areas – Governance, design and development in coastal delta cities*, Palgrave Macmillan, Cham, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-57537-3\_1 [Accessed 15 March 2022].

De Pascali, P. and Bagaini, A. (2021), "L'affermazione del Piano d'azione per l'energia sostenibile (PAES) in Italia – Limiti e tentativi di integrazione con la pianificazione locale", in *Archivio di Studi Urbani e Regionali*, issue 131, suppl., pp. 71-96. [Online] Available at: doi.org/10.3280/ASUR2021-131-S1004 [Accessed 15 March 2022].

Fanger, P. O. (1970), *Thermal Comfort, Analysis and Application in Environment Engineering*, Danish Technical Press, Copenhagen.

Frantzeskaki, N. and Rok, A. (2018), "Co-producing urban sustainability transitions knowledge with community, policy and science", in *Environmental Innovation Societal Transitions*, vol. 29, pp. 47-51. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.eist.2018.08.001 [Accessed 15 March 2022].

Guida, C. (2021), *I rischi naturali del cambiamento climatico nelle città del Mediterraneo*, Federico II Open Access University Press, Napoli. [Online] Available at: dx.doi.org/10.6093/978-88-6887-107-9 [Accessed 15 March 2022].

ISPRA (2019), "Consumo di suolo in area costiera", in *annuario.isprambiente.it*. [Online] Available at: annuario.isprambiente.it/sys\_ind/report/html/697 [Accessed 15 March 2022].

ISPRA (2012), *Manuali e Linee Guida*, vol. 78/ 2012. [Online] Available at: isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/manuali-lineeguida [Accessed 15 March 2022].

Jendritzky, G., Maarouf, A. and Staiger, H. (2001), "Looking for a universal thermal climate index UTCI for outdoor applications", in *Moving thermal comfort standards into the 21st century – Conference proceedings, Cumberland Lodge, Windsor (UK), 5th-8th April 2001*, OCS D, pp. 353-367. [Online] Available at: utci.org/isb/documents/windsor\_vers04.pdf [Accessed 15 March 2022].

Joint\_SECAP team (2021), *Joint\_SECAP – Joint strategies for climate change adaption in coastal area*. [Online] Available at: joint-secap.unicam.it [Accessed 15 March 2022].

Langenheim, N., White, M., Tapper, N., Livesley, S. J. and Ramirez-Lovering, D. (2020), "Right tree, right place, right time – A visual-functional design approach to T select and place trees for optimal shade benefit to commuting pedestrians", in *Sustainable Cities and Society*, vol. 52, 101816, pp. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scs.2019.101816 [Accessed 15 March 2022].

Matos Silva, M. (2019), *Public Spaces for Water – A Design Notebook*, CRC Press.

McDonald, R. and Beatley, T. (2021), *Biophilic Cities for an Urban Century – Why nature is essential for the success of cities*, Palgrave Pivot. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-51665-9 [Accessed 15 March 2022].

MIMS – Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili (2021), "Porti – il Mims istituisce il Tavolo del Mare", in *mit.gov.it*, 20/12/2021. [Online] Available at: mit.gov.it/comunicazione/news/porti-il-mims-istituisce-il-tavolo-del-mare [Accessed 15 March 2022].

Molenaar, A., Hölscher, K., Loorbach, D. and Verlinde, J. (2021), *Making the transition – Transformative gover-*

nance capacity, in De Graaf-van Dinther, R. (ed.), *Climate resilient urban areas – Governance, design and development in coastal delta cities*, Palgrave Macmillan, Cham, pp. 175-190. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-030-57537-3\_9 [Accessed 15 March 2022].

Mosca, F., Dotti Sani, G. M., Giachetta, A. and Perini, K. (2021), "Nature-Based Solutions – Thermal Comfort Improvement and Psychological Wellbeing, a Case Study in Genoa, Italy", in *Sustainability*, vol. 13, issue 21, article 11638, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su132111638 [Accessed 15 March 2022].

Musco, F. (2018), "Nature-Based Solutions – Tecniche e strumenti per le città resilienti", in *Equilibri | Rivista per lo sviluppo sostenibile*, vol. 1, pp. 105-115. [Online] Available at: rivisteweb.it/doi/10.1406/89641 [Accessed 15 March 2022].

Nesshöver, C., Assmuth, T., Irvine, K. N., Rusch, G. M., Waylen, K. A., Delbaere, B., Haase, D., Jones-Walters, L., Keune, H., Kovacs, E., Krauze, K., Külvik, M., Rey, F., van Dijk, J., Vistad, O. I., Wilkinson, M. E. and Wittmer, H. (2017), "The science, policy and practice of nature-based solutions – An interdisciplinary perspective", in *Science of the Total Environment*, vol. 579, pp. 1215-1227. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.106 [Accessed 15 March 2022].

Ottone, M. F. and Cocci Grifoni, R. (2021), "Habitat e paesaggio costiero in uno scenario di cambiamenti climatici", in Doti, G. (ed.), *Porti minori – Un patrimonio da riconquistare nel medio Adriatico*, Campesano Editore, Roma, pp. 85-98.

Qiang, V. and Yu, F. (2019), "The Green-cloud project – Finding green space in an urban village", in *Biophilic Cities Journal*, vol. 3, n. 1, pp. 32-35. [Online] Available at: issuu.com/biophilicities/docs/bcj\_v3\_is1\_issu\_export [Accessed 15 March 2022].

Rossi, G. E. (2019), "Adattamento urbano, strategie e progetto – Il divario fra le politiche e la loro implementazione | Urban adaptation, strategies and projects – The gap between policies and their implementation", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 6, pp. 46-57. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/652019 [Accessed 15 March 2022].

Talia, M. (2019), "La pianificazione strategica di piccoli centri portuali", in Doti, G. (ed.), *Porti minori – Un patrimonio da riconquistare nel medio Adriatico*, Campesano Editore, Roma, pp. 85-98.

Tirabassi, T. and Nasseti, S. (1999), "The representative day", in *Atmospheric Environment*, vol. 33, issue 15, pp. 2427-2434. [Online] Available at: doi.org/10.1016/S1352-2310(98)00371-9 [Accessed 15 March 2022].

Tucci, F., Cecafosso, V., Caruso, A. and Turchetti, G. (2020), *Adattamento ai cambiamenti climatici di architetture e città green – Assi strategici, indirizzi, azioni d'intervento per la resilienza dell'ambiente costruito*, FrancoAngeli, Milano.

Tuel, E. A. and Elthair, E. A. B. (2020), "Is the Mediterranean a Climate Change Hot Spot?", in *Journal of Climate*, vol. 33, issue 14, pp. 5829-5843. [Online] Available at: doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0910.1 [Accessed 15 March 2022].

## IL VERDE URBANO NELLA RIDUZIONE DEI CARICHI DI RAFFRESCAMENTO

### Simulazioni nel clima Mediterraneo

## URBAN GREEN AREAS IN THE REDUCTION OF COOLING LOADS

### Simulations in the Mediterranean climate

Carola Clemente, Massimo Palme, Anna Mangiatordi,  
Daniele La Rosa, Riccardo Privitera

#### ABSTRACT

La lotta ai cambiamenti climatici e il corretto uso del suolo rappresentano due sfide a scala globale. L'urbanizzazione e la progressiva riduzione di aree verdi e di superfici permeabili nei contesti insediativi stanno amplificando alcuni fenomeni come l'aumento della frequenza e dell'intensità delle ondate di calore e l'innalzamento della temperatura media annuale con il conseguente incremento della domanda energetica per gli edifici. Il contributo esamina il potenziale di risparmio energetico ottenibile mediante la piantumazione di vegetazione arborea negli spazi aperti disponibili intorno agli edifici per diversi tessuti urbani nel clima Mediterraneo. I dati dedotti dalle simulazioni, riferiti a comparti residenziali, ampliano il quadro di conoscenze sui benefici energetico-ambientali delle Infrastrutture Verdi e sono utili a indirizzare pratiche sostenibili di rigenerazione urbana.

The fight against climate change and the right use of soil are two challenges on a global scale. The urbanization and the progressive reduction of green areas and permeable surfaces in urban settlements are amplifying some phenomena such as the increase of frequency and intensity of heatwaves and the annual average temperature, causing the growth of building energy demand. The paper examines the energy-saving potential that can be obtained by planting trees in outdoor spaces available around buildings for different urban frameworks in the Mediterranean climate. The data coming from the simulations, referred to residential sectors, expand the knowledge about the energy-environmental benefits of Green Infrastructures and are useful to guide sustainable practices of urban regeneration.

#### KEYWORDS

infrastrutture verdi, soluzioni basate sulla natura, verde urbano, riduzione dei carichi di raffreddamento sugli edifici, tessuti urbani nel clima Mediterraneo

green infrastructures, nature-based solutions, urban green areas, reduction of cooling loads on buildings, urban frameworks in the Mediterranean climate

**Carola Clemente**, Architect and PhD, is an Associate Professor of Architectural Technology at the DIAP Department of the 'Sapienza' University of Rome (Italy). Mob. +39 335/42.15.98 | E-mail: carola.clemente@uniroma1.it

**Massimo Palme**, Architect and PhD, is an Associate Professor at the Department of Architecture of the Universidad Técnica Federico Santa María (Chile) and Visiting Professor at the Universidad Católica del Norte (Chile). E-mail: massimo.palme@usm.cl

**Anna Mangiatordi**, Architect and PhD, is a Research Fellow and Adjunct Professor of the degree course Green Infrastructures and Biomaterials at the DIAP Department of the 'Sapienza' University of Rome (Italy). E-mail: anna.mangiatordi@uniroma1.it

**Daniele La Rosa**, Engineer and PhD, is an Associate Professor in Urban and Environmental Planning at the Department of Civil Engineering and Architecture at the University of Catania (Italy). E-mail: dlarosa@darc.unict.it

**Riccardo Privitera**, Engineer and PhD, is a Researcher at the Department of Civil Engineering and Architecture, University of Catania (Italy). E-mail: riccardo.privitera@unict.it

Il surriscaldamento globale e i cambiamenti nell'uso del suolo hanno introdotto negli ultimi decenni una pressione insostenibile sul clima a scala planetaria, generando fenomeni disastrosi oltre che effetti atmosferici rilevanti sull'ambiente (EEA, 2020). Le città sono spesso esposte a eventi di calore estremo, il che determina condizioni di stress termico diffuso e, di conseguenza, un considerevole incremento dell'utilizzo di energia per il raffrescamento degli edifici (IEA, 2018). L'introduzione nelle città di Nature-based Solutions (NbS) – «[...] solutions that are inspired and supported by nature, which are cost-effective, simultaneously provide environmental, social and economic benefits and help build resilience. Such solutions bring more, and more diverse, nature and natural features and processes into cities, landscapes and seascapes, through locally adapted, resource-efficient and systemic interventions» (European Commission, 2021) – come lo sviluppo di Infrastrutture Verdi (IV) – «[...] a strategically planned network of natural and semi-natural areas with other environmental features designed and managed to deliver a wide range of ecosystem services in both rural and urban settings» (European Commission, 2013, p. 7) – rappresentano modalità affidabili per ridurre gli impatti dei cambiamenti climatici e per mitigare il fenomeno dell'isola di calore (Tiwari et alii, 2021), identificandosi come strategie efficaci per la conservazione degli ecosistemi naturali, tali da orientare pratiche sostenibili di trasformazione del paesaggio urbano.

Nella zona climatica del Mediterraneo, l'inverno è piovoso con temperature miti, mentre l'estate è calda e secca, con caratteristiche tipiche propriamente dedotte dalle località. Nelle aree geografiche con clima Mediterraneo, l'inverdimento urbano è incluso tra le soluzioni per preservare il comfort outdoor e indoor e per ottimizzare i carichi energetici riferiti all'ambiente costruito (Palme, Privitera and La Rosa, 2020). La vegetazione arborea, specie quella ad alto fusto, consente l'attenuazione dell'irraggiamento solare sugli elementi di involucro opaco e trasparente degli edifici, definendo zone d'ombra che mitigano la temperatura dell'aria e innescano processi di evaporazione e di traspirazione, limitando gli scambi di onde elettromagnetiche e termiche tra le superfici, mediante la generazione di movimenti d'aria che abbassano i livelli di temperatura in atmosfera, a causa dei propri effetti (Givoni, 1991).

Le strategie di pianificazione e di progettazione a scala urbana che considerano l'introduzione di vegetazione arborea negli spazi aperti e nell'ambiente costruito possono avere risonanze significative sulla riduzione della domanda energetica, fornendo al contempo un'ampia disponibilità di aree verdi e di spazi ricreativi in grado di attivare nuovi 'servizi ecosistemici'<sup>1</sup>, migliorando la vivibilità delle città, con un ruolo essenziale nella regolazione del microclima locale e nella mitigazione dell'isola di calore (Mussinelli et alii, 2018), incidendo sul fabbisogno energetico e sui costi operativi e di gestione edilizia. Il corretto posizionamento della vegetazione arborea in prossimità degli edifici può risultare fondamentale per ottenere il massimo livello di risparmio energetico, per ridurre le emissioni inquinanti e per migliorare la qualità dell'aria e dell'acqua, con importanti ricadute per il benessere outdoor e indoor degli occupanti (Santamouris and Kolokotsa, 2016).

Sebbene la ricerca internazionale sia stata finora ampiamente orientata a comprendere i benefici ambientali, economici e sociali che derivano dalla presenza di vegetazione arborea nei contesti urbani (Andreucci, 2017) – ne troviamo risulanza in una vasta diffusione di documenti di divulgazione scientifica<sup>2</sup> come nelle recenti proposte di finanziamento promosse dalla Commissione Europea<sup>3</sup> che individuano le NbS e le IV tra le soluzioni ottimali per superare la crisi post-pandemica (European Commission, 2020) e per il raggiungimento di nuovi obiettivi di sostenibilità<sup>4</sup> – ancora limitate sono le sperimentazioni che mirano a valutare gli apporti positivi in termini di risparmio energetico e di riduzione dei consumi sull'ambiente costruito, alle varie scale d'intervento. Gli studi di letteratura, laddove presenti, fanno riferimento a condizioni climatiche diverse dal Mediterraneo (Laband and Sophocleus, 2009) o a tipologie edilizie generiche, non sempre riferite a specifici tessuti insediativi (Balogun, Morakinyo and Adegun, 2014).

Inoltre, in alcuni approfondimenti di ricerca, la vegetazione arborea è posizionata in modo casuale nelle aree verdi libere in prossimità degli edifici (Calcerano and Martinelli, 2016) senza seguire precise configurazioni spaziali e trascurando le priorità d'uso che possono derivare da logiche più estese di pianificazione nelle città. Il potere benefico della vegetazione arborea negli spazi urbani può dipendere dalla morfologia degli insediamenti, dalla disponibilità di spazi all'aperto e dalla tipologia di specie arborea inserita (Privitera et alii, 2021). Occorre, in aggiunta, valutare l'impatto paesaggistico degli interventi, anche in relazione agli aspetti di crescita e di manutenzione, oltre che la fattibilità tecnica rispetto alla disponibilità economica delle committenze (pubbliche o private) e le azioni multi-sistemiche che possono derivare dalla piantumazione di alberature in determinate aree urbane.

Il contributo presenta i risultati di uno studio di simulazione<sup>5</sup> condotto in diverse località del mondo, comprese nella fascia climatica del Mediterraneo (Fig. 1), volto a stimare la riduzione dei carichi di raffrescamento sugli edifici, ottenibile mediante la piantumazione di vegetazione arborea negli spazi aperti disponibili nell'intorno urbano per differenti tessuti insediativi. Le aree metropolitane di Roma e di Catania in Italia e le città di Santiago del Cile e di Viña del Mar in Cile sono le località oggetto di studio, contraddistinte da condizioni geografiche oltre che da caratteristiche peculiari dei tessuti urbani per forma e prestazione energetica. A partire dall'analisi dei quattro ambiti macroclimatici, sono stati selezionati comparti insediativi e morfologie edilizie, generando file meteorologici urbani mediante il software Urban Weather Generator (UWG). In secondo luogo, è stata condotta una simulazione sulle prestazioni edilizie con il software TRSYS v.17 per ottenere il carico di raffrescamento annuale considerando l'apporto benefico dovuto alla presenza o all'aggiunta di vegetazione arborea negli spazi verdi liberi attorno agli edifici.

I risultati dei test di simulazione mostrano un abbassamento consistente dei carichi frigoriferi a seconda delle specie utilizzate e della loro posizione nello spazio aperto, delle tipologie edilizie e delle proprietà tecniche e dimensionali dell'edificio. Le informazioni desunte dalle simulazio-

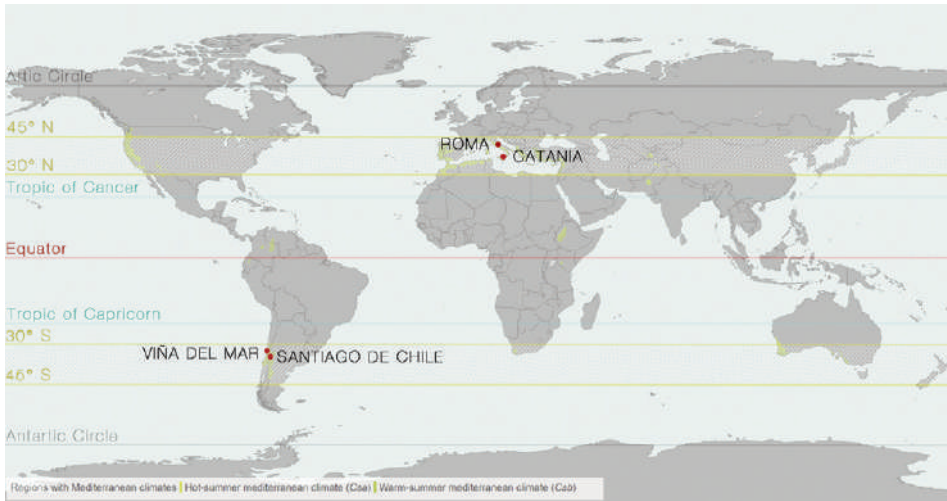
ni integrano le conoscenze esistenti sui vantaggi delle IV e sono utili a implementare i parametri sinora adottati negli strumenti di divulgazione già in circolazione dalla ricerca internazionale<sup>6</sup>. Ulteriori sviluppi riguarderanno la realizzazione di applicativi informatizzati in grado di veicolare dati riferiti agli spazi aperti e all'ambiente costruito, riferiti alla presenza di vegetazione arborea piuttosto che di aree verdi libere in rapporto alle peculiarità dei tessuti insediativi, restituendo informazioni atte a indirizzare pratiche sostenibili di rigenerazione urbana.

**Metodologia e fasi** | La fascia del Clima Mediterraneo si configura come ambito di indagine privilegiato, particolarmente sensibile ai fenomeni legati ai cambiamenti climatici e all'effetto isola di calore urbana. Le città selezionate individuano quattro ambiti macroclimatici classificati nella mappa di Köppen-Geiger come clima temperato con estati calde e secche (Csa = warm temperate, summer dry, hot summer): Roma (41,5° N) e Catania (37,50° N), nell'emisfero nord, presentano apporti solari simili, con estati afose in Sicilia, dove le temperature superano frequentemente i 30 °C, e l'irraggiamento solare raggiunge valori elevati; Santiago del Cile (33,27° S) e Viña del Mar (33,01° S), nell'emisfero sud, si trovano a latitudini prossime tra loro e presentano temperature estive leggermente più miti, grazie alla presenza delle correnti fredde dell'Oceano Pacifico. In queste aree geografiche, la vicinanza al mare condiziona il microclima urbano, in determinati momenti dell'anno e ore della giornata, favorendo la ventilazione naturale e il raffrescamento degli spazi aperti. Tuttavia, l'ombreggiamento rappresenta un elemento determinante nella garanzia di adeguati livelli di comfort all'esterno e all'interno degli edifici, con un peso notevole sul fabbisogno energetico e sul conseguente dimensionamento delle dotazioni impiantistiche durante la stagione estiva.

I tessuti urbani su cui è stata condotta l'analisi riguardano comparti residenziali con connotazioni insediative, morfologico-architettoniche e densità edilizie differenti. Per la città di Roma, si tratta di due complessi di edilizia residenziale sociale (Piani di zona PEEP) realizzati negli anni Ottanta nella zona nord-est della capitale. Il comparto R5 di Tor Bella Monaca (Caso A) si snoda come un 'serpentone' a otto piani, suddiviso in tre blocchi di edifici imponenti nelle dimensioni, in comunicazione tramite atrii di ingresso e collegamenti verticali, circondati da una distesa di verde urbano a formare tre corti aperte verso l'agro romano e da due piazze pedonali verso l'asse principale di Viale dell'Archeologia, soggette all'incuria e in stato di abbandono (Fig. 2). L'area di Casale Caletto (Caso B) definisce un piccolo distretto urbano composto da cinque corpi di fabbrica in linea e da quattro edifici a 'L' disposti con giacitura speculare, organizzati su quattro piani, da spazi pedonali e da aree verdi incolte verso la campagna, su cui si dispongono i fronti interni costruiti contrapposti alla viabilità primaria (Fig. 3).

Nel caso di Catania (Caso C), lo studio riguarda due aree residenziali a bassa densità edificata tra gli anni Sessanta e Ottanta, situate in località Tremestieri Etneo, a non molta distanza tra loro, caratterizzate da edifici a tre e quattro pia-





**Fig. 1** | Cities and case studies in the Mediterranean climate area (credit: graphic processed by the Authors on World Map of Köppen-Geiger climate classification, 2022).

ni, che si affacciano su spazi verdi di pertinenza privati di limitate dimensioni (Fig. 4). Il tessuto insediativo di Benidorm a Viña del Mar (Caso D) si colloca su una parte alta della città, composta da edifici a quattro piani degli anni Ottanta, e da un'area verde circostante in pendenza, con spazi interstiziali asfaltati o pavimentati tra l'edificato (Fig. 5). Il complesso abitativo di Las Condes a Santiago del Cile (Caso E), frutto di un progetto di intervento di recente realizzazione, si compone di volumi disposti su cinque piani a formare corti permeabili e da edifici in linea, a ridosso di un parco urbano (Fig. 6).

Si tratta di comparti residenziali situati in aree periferiche delle città che individuano una varietà di forme urbane, di modelli edilizi e di layout di spazi aperti, con relativi usi. La destinazione d'uso residenziale accomuna questi complessi immobiliari, consentendo comparazioni similari in termini di consumi energetici, essendo confrontabili i regimi preferenziali d'utilizzo. Gli edifici presentano diverse dimensioni in altezza, larghezza e profondità, riconducibili a quattro forme edilizie 'C', 'I', 'L', 'T', tipizzate nelle proporzioni (Fig. 7), con orientamenti e rapporti di relazione con lo spazio aperto differenziati. Le aree verdi e gli spazi vuoti che definiscono questi tessuti insediativi – parchi urbani, piazze a servizio della collettività, aree interstiziali tra gli edifici, spazi di pertinenza, zone verdi incolte, viali alberati, ecc. – possono influenzare in modo evidente il potenziale raffrescamento che si genera nello spazio urbano e il conseguente comportamento energetico degli edifici, in relazione alla densità, alla posizione e alle dimensioni delle specie arboree insediate.

Lo studio ha considerato una molteplicità di configurazioni spaziali determinate dall'introduzione di diverse specie arboree negli spazi aperti disponibili intorno agli edifici, che hanno prodotto effetti ombreggianti diversificati sull'ambiente costruito, in funzione dell'orientamento prevalente, della posizione, dell'altezza e della distanza dalle alberature. Le specie arboree sono state selezionate in base a criteri dimensionali e di crescita nel tempo, oltre che alla compatibilità con il clima, privilegiando le tipologie che si adattano

al Mediterraneo, e che richiedono meno quantità di acqua, abbassando i costi e la quantità di energia necessaria per il loro mantenimento. Sono state quindi considerate tre tipologie di specie arborea – il 'Pinus Pinaster', il 'Platanus Occidentalis' e il 'Ficus Benjamina' (Fig. 8) – rispetto alle quali sono state determinate le zone d'ombra sugli edifici, in base al livello di permeabilità solare, inteso come la quantità di luce che passa attraverso il fogliame, e alla geometria, ovvero all'altezza e all'ampiezza della chioma.

Per stimare lo Sky View Factor (SVF) e la permeabilità alla luce solare, sono state elaborate le immagini 'fish-eye' delle specie arboree selezionate con il software GLA (Fig. 9), adottando i seguenti fattori: il 'cloudiness index' (rapporto di luce solare trasmesso attraverso l'atmosfera) pari a 0,75, il valore di 'spectral fraction' (rapporto di luce solare che entra nel campo visibile) pari a 0,4 e il 'beam fraction' (rapporto di radiazione solare diretta globale) pari a 0,7. Quindi, è stata computata la quantità di radiazione solare entrante negli edifici, fissando il fattore di 'solar shading' (dovuto all'uso di persiane o dispositivi simili) pari a 1, quando le schermature sono aperte, e pari a 0,40 quando le schermature sono parzialmente chiuse e il conseguente fattore di luce diurna e di ventilazione, in relazione al rapporto tra superfici opache e trasparenti. Per calcolare la porzione di ombreggiamento della vegetazione arborea sugli edifici è stato utilizzato il software TRNSYS v.17, impostando un modulo Shadow Mask per ciascuna configurazione e specie arborea considerata. La maschera d'ombra è stata costruita a partire da una formula trigonometrica che mette in relazione la forma e la dimensione degli alberi con la distanza dall'edificio e la sua altezza (Fig. 10), restituendo valori angolari, che vanno a popolare la matrice di input progettuali, necessaria per la quantificazione della percentuale di aree ombreggiate sugli edifici.

Le simulazioni effettuate hanno privilegiato la condizione estiva, di rilievo in clima Mediterraneo, consentendo una valutazione complessiva degli apporti migliorativi e degli impatti che la natura, e in particolare l'inserimento di vegeta-

zione arborea nello spazio urbano, può avere sull'ambiente costruito. I dati climatici riferiti a ciascun caso studio sono stati inseriti in schede meteorologiche orarie rappresentative degli andamenti medi del luogo, secondo il formato '.epw', disponibile nella banca dati Energy Plus<sup>7</sup> facendo riferimento alla stazione meteorologica più vicina a ciascuna area, trasferendoli nel software UWG che dà conto della morfologia dei settori urbani oggetto di analisi. I parametri utilizzati per l'ottenimento dei file meteorologici urbani sono: la superficie di terreno occupata dagli edifici; il rapporto tra superficie di facciata e area considerata; la superficie coperta da aree verdi distinte tra alberature e prati; l'altezza media ponderata degli edifici presenti nel comparto. Le prestazioni e i conseguenti risparmi energetici sono stati ottenuti in considerazione di un sistema impiantistico ideale HVAC, ipotizzando una temperatura di regolazione del termostato di 26 °C durante la stagione estiva.

Il calcolo sulle prestazioni energetiche degli edifici ha incluso l'ombreggiamento prima e dopo l'ipotesi di posizionamento di nuovi sistemi di vegetazione arborea nell'intorno urbano e ha tenuto conto delle proprietà morfologiche dei tessuti insediativi. Le Figure 11-15 mostrano le configurazioni di layout adottate dopo l'intervento, mentre nelle Figure 16-20 sono sintetizzati i grafici necessari per le interpolazioni di calcolo utilizzate per conteggiare il grado di ombreggiamento sugli edifici rispetto al tipo edilizio ideale, in relazione alle condizioni di orientamento e alle dimensioni degli edifici, all'estensione degli spazi aperti e alla distanza dalla vegetazione arborea, per ciascun tessuto insediativo (Tab. 1). Dopo aver misurato il grado di oscuramento che le diverse specie arboree provocano sugli edifici e l'incidenza dell'isola di calore per ciascun comparto residenziale (Tab. 2) è stato valutato il potenziale raffrescamento che questi generano sull'ambiente costruito e il relativo risparmio energetico (Tab. 3).

**Risultati e discussione** | I risultati delle simulazioni hanno riguardato circa 120 casi (40 edifici per 3 specie arboree), mostrando una diminuzione media dei carichi frigoriferi pari al 15-25% (45 edifici sotto la soglia del 15%, 46 oltre il 25% e 29 tra il 15% e il 25%) con valori di risparmio energetico elevati nell'emisfero sud, dove la presenza di un clima più mite in estate incide sullo smorzamento delle ondate di calore e sui livelli di temperatura negli spazi aperti oltre che sulla riduzione dei carichi di raffreddamento negli edifici. A Santiago del Cile (Caso E), l'isola di calore urbana viene influenzata in modo positivo dalla morfologia del tessuto insediativo, composto da edifici mediamente alti con un'ampia porzione di spazio verde disponibile, restituendo valori di consumi energetici che si attestano intorno ai 6-8 KWh/m<sup>2</sup> annui. A Viña del Mar (Caso D) le condizioni climatiche abbassano ulteriormente i consumi energetici fino a 2-3 KWh/m<sup>2</sup> annui, anche per la presenza di edifici relativamente bassi e di spazi di pertinenza di limitate dimensioni molto vicini ai corpi di fabbrica, con una riduzione del fabbisogno energetico del 60%.

A Roma (Caso A e B) e a Catania (Caso C) i livelli di consumo energetico raggiungono i 5-6 KWh/m<sup>2</sup> e i 10-11 KWh/m<sup>2</sup> annui e sono influen-

zati dalla morfologia degli edifici oltre che dal clima. Nel caso di Tor Bella Monaca (Caso A) l'altezza degli edifici riduce di gran lunga il livello di risparmio energetico ottenibile, poiché il grado di ombreggiamento interessa solo i primi quattro piani del complesso residenziale, a differenza di Casale Caletto (Caso B) dove l'elevazione dei volumi è minore. In generale, gli orientamenti a Ovest risultano maggiormente efficienti: le configurazioni a 'I' e a 'C' sono più facilmente ombreggiabili rispetto alle forme edilizie a 'T' e a 'L', che nel caso di Catania, contengono di molto i livelli di risparmio energetico ottenibili. Riguardo alla vegetazione arborea, il 'Pinus Pinaster' apporta maggiori benefici energetico-ambientali rispetto alle altre due specie arboree, grazie alla sua conformazione che permette di ombreggiare i piani più alti e anche solo parzialmente i livelli di copertura degli edifici (Fig. 21).

Le simulazioni effettuate dimostrano come sia possibile ottenere risparmi energetici consistenti nelle aree a bassa densità edilizia, dove gli edifici occupano una quota parte dello spazio costruito e il posizionamento delle alberature avviene a distanza ridotta (Caso C e D). Tuttavia, la compattezza e la quantità di vegetazione arborea insediabile può avere un potenziale di raffrescamento maggiore nei tessuti urbani a più alta densità laddove, nonostante l'eccessiva elevazione degli edifici, vi è una più ampia disponibilità di spazio all'aperto, in termini di estensione e di variabilità delle specie arboree adottate (Caso A, B ed E; Fig. 22).

La comprensione della complessità dei fenomeni ambientali, fisici ed energetici che si instaurano tra edifici, vegetazione arborea e intorno urbano può rappresentare una base conoscitiva indispensabile per la produzione di nuovi apparati cognitivi e per lo sviluppo di strumenti applicativi innovativi a supporto dei futuri processi di trasformazione urbana. I risultati ottenuti dalle simulazioni saranno utilizzati per la creazione di un database informativo, in cui saranno contenuti i potenziali di risparmio energetico riferiti all'inserimento di determinate specie di vegetazione arborea in specifici tessuti urbani in clima Mediterraneo, entro valori di soglia prestabiliti.

Una delle barriere che può limitare la diffusione e l'affermazione dello studio come prassi risiede nella quantità e nel livello di precisione delle informazioni necessarie: la modellizzazione dei dati attraverso software tra loro interoperabili può compromettere l'affidabilità dei risultati, per i quali occorre prevedere opportune semplificazioni, anche al fine di renderli accessibili a molteplici categorie d'utenza con competenze differenti. Sotto questo punto di vista, l'uso di tecniche di machine-learning può risultare funzionale a una maggiore razionalizzazione delle procedure, contemplando l'elaborazione di un numero definito di parametri da utilizzare per l'allenamento dell'algoritmo di classificazione scelto – come ad esempio la zona climatica, l'altitudine e la latitudine, la distanza dal mare, la tipologia di tessuto insediativo del comparto, l'anno di costruzione degli edifici, le tecnologie co-

struttive e lo stato di conservazione, la densità edilizia, l'altezza e il numero di piani, il numero di facciate in ombra, l'orientamento, la forma in pianta, la distanza e la tipologia di specie arborea. La qualità delle predizioni, e quindi degli output di progetto, dipenderà dalla qualità e dalla quantità dei dati di inventario, che potranno essere confinati ad alcuni aspetti predefiniti dal progetto, consentendone l'adattabilità e la replicabilità a molteplici contesti d'uso, in altri microclimi e tessuti insediativi.

**Conclusioni** | La possibilità di utilizzare i dati desunti dalle simulazioni e di rielaborarli con tecniche di machine-learning, attraverso sistemi di intelligenza predittiva, rappresenta, dunque, una delle evoluzioni future della ricerca, la cui finalità risiede nella definizione di configurazioni spaziali ottimali anche in considerazione dell'aggiunta di ulteriori tipologie edilizie (es. scuole, uffici, ospedali, ecc.) e di nuove specie arboree rispetto a quelle sinora adottate, aggiornando i risultati delle ricerche in corso con una serie di parametri funzionali al controllo del fenomeno urbano dell'isola di calore e all'ottimizzazione della domanda energetica per gli edifici (esistenti e di nuova realizzazione). I valori monitorati potranno essere utilizzati per la costruzione di mappe di vulnerabilità climatica ed energetico-ambientale e per la realizzazione di strumenti informatizzati a supporto dei futuri processi decisionali e progettuali in ambito urbano – si fa riferimento alla creazione di piattaforme informa-



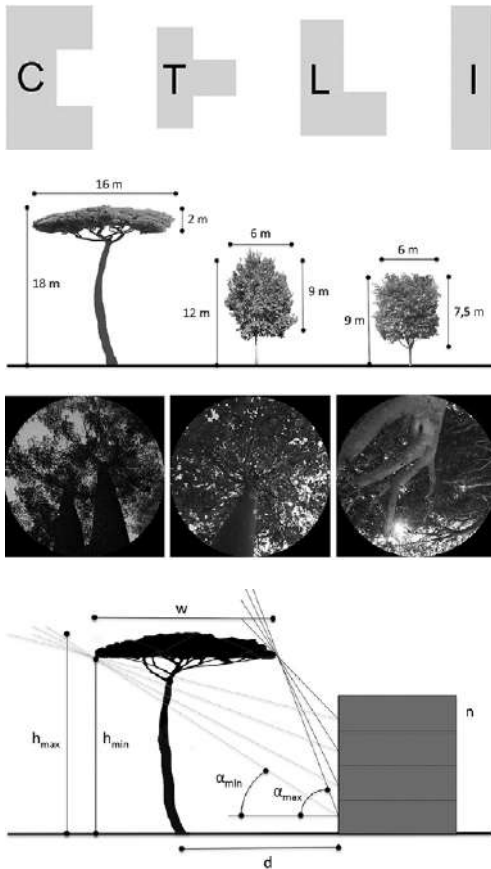
**Fig. 2** | Case study A: R5 residential sector in Tor Bella Monaca district, Rome (credit: the Authors, 2022).

**Fig. 3** | Case study B: district of residential buildings in Casale Caletto, Rome (credit: the Authors, 2022).

**Fig. 4** | Case study C: low-density residential areas in Tremestieri Etneo, Catania (credit: the Authors, 2022).

**Fig. 5** | Case study D: residential buildings in Benidorm, Viña del Mar (credit: the Authors, 2022).

**Fig. 6** | Case study E: 'Las Condes' residential complex, Santiago de Chile (credit: the Authors, 2022).



**Fig. 7** | Characterized building forms: 'C', 'I', 'L' and 'T' (credit: the Authors, 2022).

**Fig. 8** | Tree species and sizes: 'Pinus Pinaster', 'Platanus Occidentalis' and 'Ficus Benjamina' (credit: the Authors, 2022).

**Fig. 9** | Images elaborated with the 'fish-eye' procedure: 'Pinus Pinaster', 'Platanus Occidentalis' e 'Ficus Benjamina' (credit: the Authors, 2022).

**Fig. 10** | Shadow mask created for the tree species 'Pinus Pinaster' (credit: the Authors, 2022).

tiche utilizzabili tramite App per PC o smartphone – in grado di rielaborare le informazioni contenute nel database informativo e di gestire dati eterogenei, ovvero di apprendere in automatico alcune funzioni, per adattare le soluzioni progettuali alle richieste di committenti e di utenti finali.

L'implementazione di questi strumenti richiederà l'apporto di ulteriori professionalità specialistiche (es. agronomi, architetti paesaggisti, tecnici forestali, economisti, gestori di servizi digitali e informatici, ecc.), ampliando gli orizzonti culturali e le ricadute operative della ricerca, attraverso una maggiore condivisione di saperi. Uno degli aspetti originali dello studio risiederà nella possibilità di integrare indici di permeabilità e d'uso dei suoli con i valori di potenziale miglioramento energetico dei tessuti insediativi – esistenti e di nuova realizzazione – anche attraverso valutazioni di natura economica e analisi costi-benefici, prevedendo l'uso di dispositivi sensoristici così come l'interoperabilità con applicativi GIS e LIDAR, in grado di restituire dati a scala urbana e informazioni sugli usi e sulle coperture di suolo.

Il rapporto di interrelazione simbiotica che si instaura tra vegetazione arborea e ambiente costruito ha consentito di effettuare simulazioni efficaci in grado di restituire un quadro complessi-

vo di parametri e di valori energetico-ambientali che possono incidere sul fabbisogno energetico degli edifici e di valutare gli effetti dovuti alla presenza o alla piantumazione di elementi naturali nello spazio outdoor in termini di risparmio energetico e di riduzione dei consumi indoor. L'effettiva disponibilità di spazio all'aperto per il posizionamento della vegetazione arborea può rappresentare una variabile fondamentale nei programmi d'intervento, nelle valutazioni sulla fattibilità tecnico-economica e nell'individuazione di scenari progettuali ottimali e può incidere sulla variabilità degli standard urbanistici da destinare ad aree verdi e alla piantumazione di alberature nelle città. I dati sull'uso del suolo unitamente ai parametri energetico-ambientali associati all'inserimento di specifiche specie arboree negli spazi aperti disponibili nelle aree urbane, possono indirizzare interventi di trasformazione e di gestione sostenibile nelle città, che considerino al contempo efficienza energetica e impatti ambientali, limitando i rischi connessi all'eccessivo consumo di suolo e alle emissioni di carbonio.

In the last decades, global warming and the changes in the use of soil have put intolerable pressure on the climate on a global scale, generating disastrous phenomena as well as significant atmospheric effects on the environment (EEA, 2020). The cities are often exposed to extreme heat events. This determines a diffused thermic stress and, as a result, a considerable increase in the use of energy for cooling the buildings (IEA, 2018). Introducing Nature-based Solutions (NbS) in cities – «[...] solutions that are inspired and supported by nature, which are cost-effective, simultaneously provide environmental, social and economic benefits and help build resilience. Such solutions bring more, and more diverse, nature and natural features and processes into cities, landscapes and seascapes, through locally adapted, resource-efficient and systemic interventions» (European Commission, 2021) – such as the development of Green Infrastructures (GI) – «[...] a strategically planned network of natural and semi-natural areas with other environmental features designed and managed to deliver a wide range of ecosystem services in both rural and urban settings» (European Commission, 2013, p. 7) – is a reliable way to reduce the impacts of climate change and the heat island phenomenon (Tiwari et alii, 2021). They identify as effective strategies for natural ecosystems preservation, that orient sustainable practices of urban landscape transformation.

In the Mediterranean climate zone, winters are rainy with mild temperatures, while summers are hot and dry, and each city has typical characteristics. In geographic areas with a Mediterranean climate, urban greening is one of the solutions to preserve outdoor and indoor comfort and optimize built environment energy loads (Palme, Privitera and La Rosa, 2020). The trees, especially tall trees, help reduce solar radiation on opaque and transparent envelope elements of the buildings, creating shady areas that mitigate the air temperature and trigger evaporation and transpiration processes, limiting the exchanges of electromagnetic and thermal waves

between the surfaces, by generating air movements which lower the temperature levels in the atmosphere (Givoni, 1991).

On an urban scale, planning and design strategies considering the introduction of trees in outdoor spaces and the built environment can have a greater impact on the reduction of energy demand. They would provide, at the same time, a wide range of green areas and recreational areas, capable of implementing new 'ecosystem services'<sup>1</sup>, improving the liveability of cities. They have an essential role in regulating local microclimates and in mitigating the heat island (Musinelli et alii, 2018), impacting the energy demand and the operational and management construction costs. The right placement of trees next to buildings can be fundamental to get the maximum level of energy-saving, to reduce pollution and improve the quality of air and water, with a high impact on the outdoor and indoor wellbeing of residents (Santamouris and Kolokotsa, 2016).

So far the international research has been greatly oriented to understand the environmental, economic and social benefits of the presence of trees in urban contexts (Andreucci, 2017). This is shown in many scientific papers<sup>2</sup>, as in the recent funding proposals promoted by the European Commission<sup>3</sup> (2020) which considers NbS and GIs two of the optimal solutions to overcome the post-pandemic crisis and to reach new sustainability objectives<sup>4</sup>. However, there are still few tests aiming to evaluate the positive contribution of energy-saving and reduced consumption in the built environment, on different intervention scales. The existent literature studies mention climatic conditions different from the Mediterranean ones (Laband and Sophocleus, 2009) or to generic building types, not always referred to as specific settlement frameworks (Balogun, Morakinyo and Adegun, 2014).

Moreover, in some in-depth analyses, trees are casually placed in free green areas next to buildings (Calcerano and Martinelli, 2016) without following precise patterns and ignoring the priorities of use that may come from wider planning logic in cities. The positive impact of trees in urban spaces can depend on the settlements' layouts, the availability of outdoor spaces and the tree species added (Privitera et alii, 2021). Moreover, it is necessary to evaluate the landscape impact of the interventions, also concerning growth and care aspects, as well as the technical feasibility considering the economic resources of the clients (public or private) and the multi-systemic actions that may derive from planting trees in certain urban areas.

The paper presents the results of the simulation study<sup>5</sup> carried out in different places in the world, including in the Mediterranean climatic area (Fig. 1), aimed at estimating the reduction of cooling loads on buildings, obtainable by planting trees in the available outdoor spaces of the urban environment for different settlement frameworks. The metropolitan areas of Rome and Catania in Italy and Santiago de Chile and Viña del Mar in Chile are the objects of the study, characterized by specific geographical conditions as well as by urban frameworks with unique shape and energy performance characteristics. Starting from the analysis of the four macroclimatic areas, settlement sectors and

building morphologies were selected, generating urban meteorological files with the Urban Weather Generator (UWG) software. Then a simulation of the construction performance was carried out with the TRSYS v.17 software to get the annual cooling load, considering the positive impact of the presence or inclusion of trees in the free green spaces around the buildings.

The results of the simulation tests show a considerable cooling load reduction according to the species used and their placement in the outdoor area, building types and technical and dimensional properties of the built environment. The information gathered from the simulations integrates the existent knowledge on the advantages of the GIs and is useful to implement the parameters used in the dissemination tools already used in the international research<sup>6</sup>. Further developments will concern the creation of computer applications able to convey data referring to outdoor spaces and built environment, concerning the presence of trees, free green areas, the characteristics of the settlement frameworks, and delivering information suitable for directing sustainable practices of urban regeneration.

**Method and stages** | The Mediterranean climate area is a privileged field of investigation, particularly responsive to phenomena linked to climate change and the urban heat island effect. The selected cities identify four macroclimatic areas classified in the Köppen-Geiger map as a temperate climate with hot and dry summers (Csa = warm temperate, summer dry, hot summer). Rome (41.5° N) and Catania (37.50° N), in the northern hemisphere, have similar solar gains, with sultry summers in Sicily, where temperatures frequently exceed 30 °C and solar radiation reaches high values. Santiago de Chile (33.27° S) and Viña del Mar (33.01° S), in the southern hemisphere, are at close latitudes and have slightly milder summer temperatures, thanks to the presence of the cold winds from the Pacific Ocean. In these regions, having the sea close conditions the urban microclimate, on specific days of the year and hours of the day, facilitates natural ventilation and outdoor spaces cooling. However, shading is a critical element to ensure adequate comfort levels inside and outside the buildings. It has a high impact on the energy demand and the consequent sizing of the plant equipment in summer.

The urban frameworks analysed concern residential sectors with different residential, morphological-architectonic and construction densities. Two social housing complexes (PEEP, economic social housing plan) were built in the 1980s in the northeast area of Rome. The R5 sector in Tor Bella Monaca (Case A) winds like an eight-storey giant ‘snake’, divided into three majestic blocks of buildings, communicating through entrance halls and vertical connections, surrounded by an urban green space forming three courtyards facing the countryside and two pedestrian squares facing the main axis of Viale dell’Archeologia, subject to neglect and aban-

doned (Fig. 2). The area of Casale Caletto (Case B) is a small urban district made up of five-row buildings and four ‘L’-shaped buildings arranged in a specular layout, with four floors, pedestrian areas and uncultivated green areas facing the countryside, on which the internal facades were built opposing the main road network (Fig. 3).

In Catania (Case C), the study concerns two low-density residential areas built between the 1960s and 1980s, located in Tremestieri Etneo, not far from each other, with three and four-storey buildings overlooking small adjacent private green spaces (Fig. 4). The urban framework in Benidorm, Viña del Mar, (Case D) is located in the highest part of the city, made up of four-storey buildings from the 1980s, and a surrounding green sloping area, with asphalted or paved interstitial spaces between the buildings (Fig. 5). Las Condes residential complex in Santiago de Chile (Case E) is the result of a recent project and consists of five-storey buildings to form permeable courtyards and row buildings, close to an urban park (Fig. 6).

They are residential sectors located in the suburbs of the city and contain many urban forms, construction models and outdoor spaces layouts, and their uses. These building complexes share the residential intended use, allowing similar comparisons on energy consumption since. The buildings are different in height, width and depth, due to four building forms ‘C’, ‘I’, ‘L’, and

‘T’, characterized in their proportions (Fig. 7), with different orientations and connections with the outdoor space. The green areas and void spaces defining these building frameworks – urban parks, squares for the community, interstitial areas between buildings, adjunct spaces, uncultivated green areas, tree-lined avenues, etc. – can influence the potential cooling that is generated in the urban space and the consequent energy behaviour of buildings, concerning the density, position and size of the planted tree species.

The study has considered many spatial configurations caused by the introduction of different tree species in the available outdoor spaces around buildings. They have produced diversified shading effects on the built environment, depending on the main orientation, position, height and distance from the trees. The tree species have been selected according to size, growth-in-time, and compatibility with the climate criteria, favouring the species that adapt to the Mediterranean one, and that require less water, lowering the costs and the quantity of energy necessary for their care. Therefore three types of trees have been considered – ‘Pinus Pinaster’, ‘Platanus Occidentalis’ and ‘Ficus Benjamina’ (Fig. 8). They determined the shady areas on the buildings, according to the level of solar permeability, that is the amount of light that passes through the leaves, and the geometry, that is the height and width of the foliage.



**Fig. 11-15** | Project layout of the case studies and classification of the urban forms (credits: the Authors, 2022).

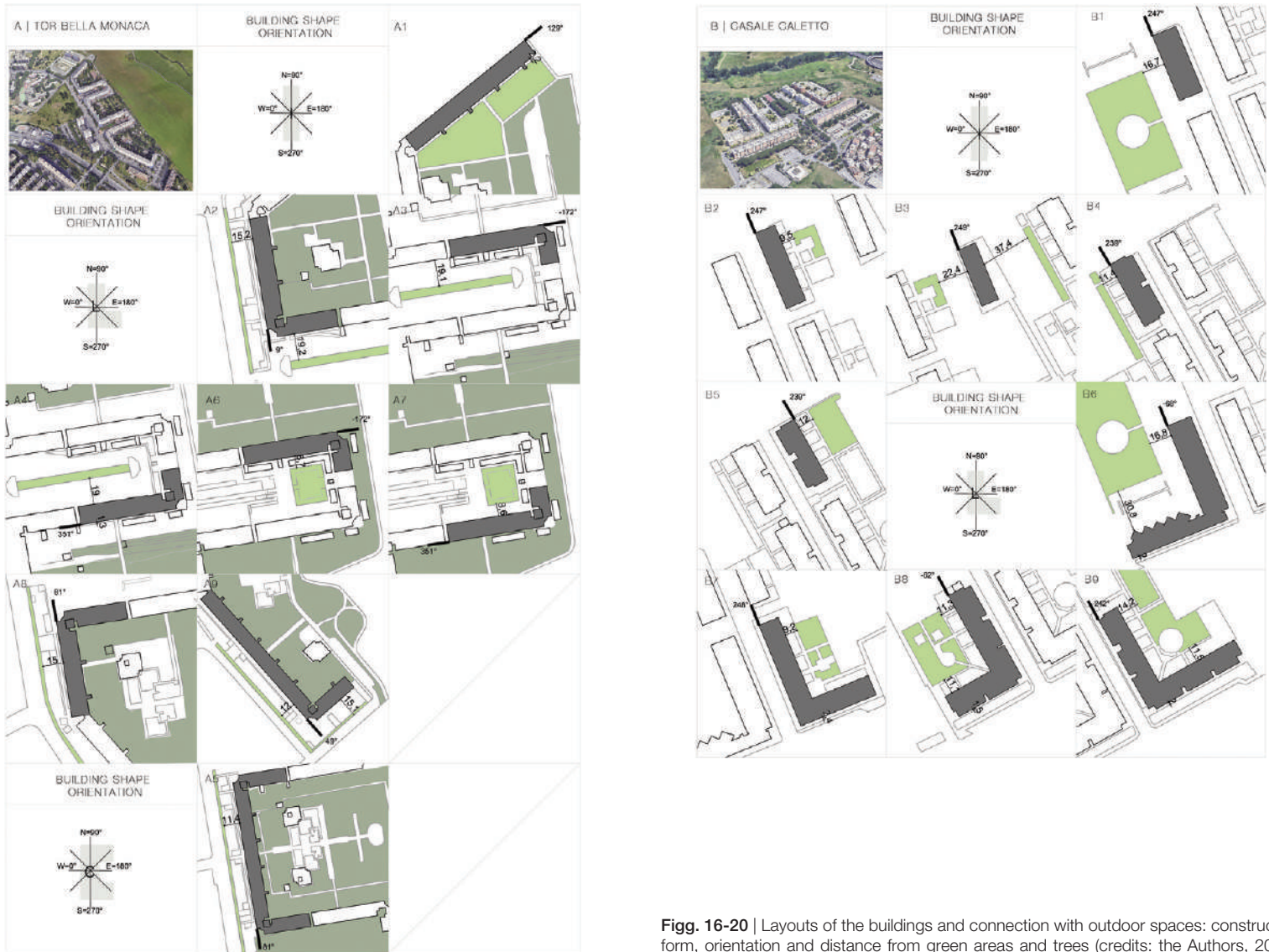


Fig. 16-20 | Layouts of the buildings and connection with outdoor spaces: construction form, orientation and distance from green areas and trees (credits: the Authors, 2022).

To estimate the Sky View Factor (SVF) and the permeability to solar light, 'fish-eye' images of the selected tree species have been elaborated with the GLA software (Fig. 9). The following factors were used: 'cloudiness index' (ratio of the solar radiation that is transmitted through the atmosphere) of 0.75, the 'spectral fraction' value (ratio of sunlight entering the visible range) of 0.4 and the 'beam fraction' (global direct solar radiation ratio) of 0.7. Then, the amount of solar radiation entering the buildings was calculated, setting the 'solar shading' factor (due to the use of shutters or similar devices) at 1, when the panels are open, and at 0.40 when they are partially closed and the resultant daylight and ventilation factor, concerning the link between opaque and transparent surfaces. The TRNSYS v.17 software was used to calculate the shading section of the trees on the buildings, setting a Shadow Mask module for each configuration and tree species considered. The shadow mask was built with a trigonometric formula, that links the shape and the size of trees with the distance from the building and its height (Fig. 10), delivering angular values which populate the design input matrix, necessary for quantifying the percentage of shaded areas on buildings.

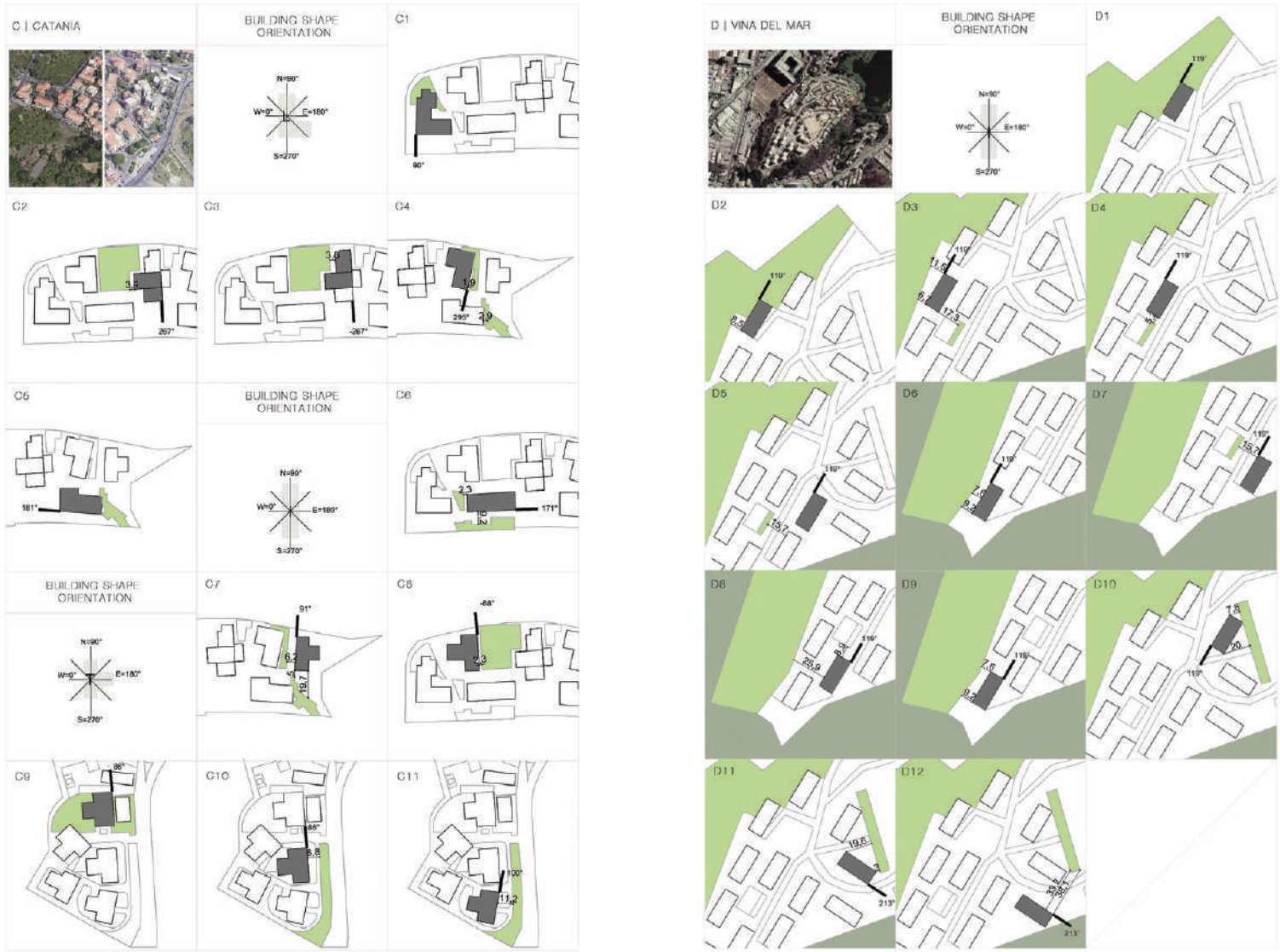
The simulations carried out have privileged the summer condition, relevant in the Mediter-

anean climate, allowing an overall assessment of the improvements and impacts that nature, and in particular adding trees in the urban space, can have on the built environment. The climate data referred to in each case study have been added in hourly weather cards representative of the average trends of the place, with the '.epw' format, available in the Energy Plus database<sup>7</sup> and referencing the weather station closest to each area, they are transferred to the UWG software which accounts for the morphology of the analyzed urban sectors. The parameters used to obtain meteorological urban files are the land area occupied by the buildings; the link between the facade surface and the area considered; the surface covered by green areas divided between trees and meadows; the weighted average height of the buildings in the sector. The performance and the related energy-savings have been obtained considering an ideal HVAC plant system, assuming a thermostat temperature of 26 °C in summer.

The calculation of the energy performance of the buildings included shading before and after the hypothesis of locating new tree systems in the urban environment and taking into account the morphological properties of the settlement frameworks. Figures 11-15 show the layouts used after the intervention, while Figures

16-20 summarize the graphs necessary for interpolations used to calculate the level of shading on buildings concerning the ideal building type, according to the orientation conditions and the size of the buildings, the extension of the outdoor spaces and the distance from the trees, for each settlement framework (Tab. 1). After measuring the shading level caused by the different tree species on buildings and the impact of the heat island for each residential sector (Tab. 2) the potential cooling that they generate on the built environment and their energy-saving were evaluated (Tab. 3).

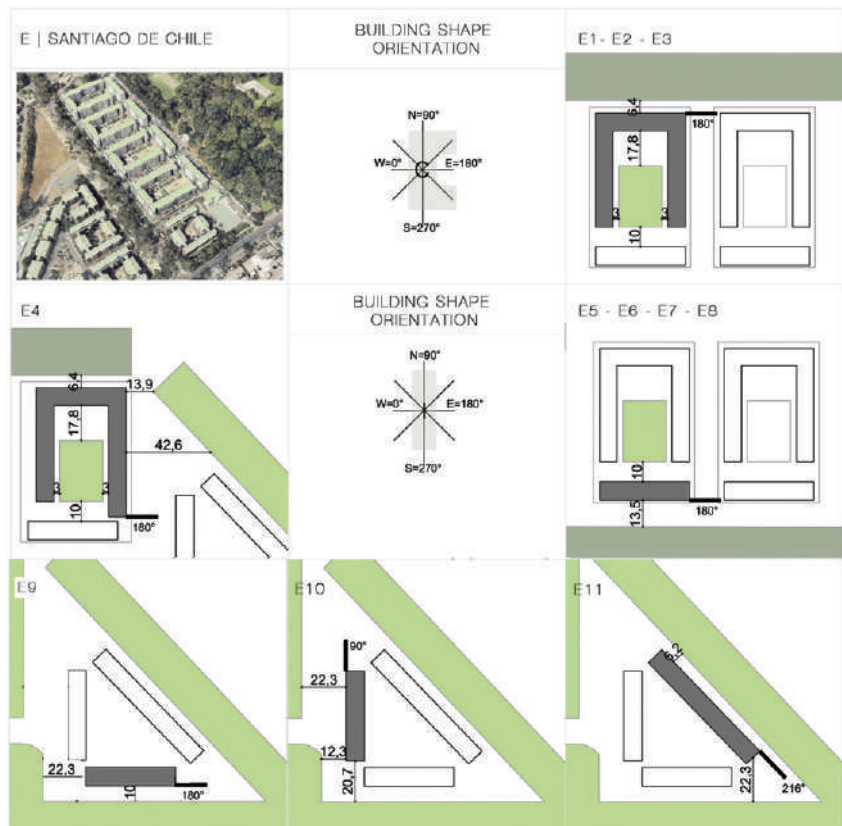
**Results and Discussion** | The results of the simulations have concerned about 120 cases (40 buildings and 3 tree species) showing an average reduction of cooling loads of 15-25% (45 buildings under 15%, 46 over 25%, and 29 between 15% and 25%) with high energy-saving values in the southern hemisphere, where milder weather in summer affects the reduction of heat-waves and temperature levels in outdoor spaces and the reduction of cooling loads in buildings. In Santiago de Chile (Case E), the urban heat island is positively influenced by the morphology of the settlement framework, made of medium-high buildings with a large green area available, delivering energy consumption values of about



6-8 KWh/sqm per year. In Viña del Mar (Case D) the climatic conditions furtherly lower energy consumption to 2-3 KWh/sqm per year, also thanks to the presence of relatively low buildings and adjunct spaces of limited size very close to the buildings, with a reduction of the energy demand of 60%.

In Rome (Case A and B) and Catania (Case C), the levels of energy consumption reach 5-6 KWh/sqm and 10-11 KWh/sqm per year and are influenced by the morphology of buildings and climate. In the Tor Bella Monaca case (Case A), the height of the buildings greatly reduces the level of energy savings achievable, because the shading only reaches the first four floors of the residential complex, as opposed to Casale Caletto (Case B) where the buildings are smaller. In general, West orientations are more efficient, the 'I' and 'C' layout are easier to shade than 'T' and 'L' construction forms, and in the case of Catania, they greatly limit the achievable energy saving levels. Regarding the trees, the 'Pinus Pinaster' brings greater energy-environmental benefits than the other two tree species, thanks to its conformation that allows it to cast a shade on the higher floors and even partially on the roofing of the buildings (Fig. 21).

The simulations carried out show how to get high energy savings in low-density construction



| City              | Residential Sector | District           | Built Area | Site/Facade Ratio | Weighted Average Height | Green Areas (trees/lawn) |
|-------------------|--------------------|--------------------|------------|-------------------|-------------------------|--------------------------|
| Rome              | A                  | Tor Bella Monaca   | 0.11       | 2.64              | 24                      | 0,2 / 0,25               |
|                   | B                  | Casale Caletto     | 0.12       | 0.62              | 15                      | 0,05 / 0,08              |
| Catania           | C                  | Tre Mestieri Etneo | 0.19       | 0.88              | 12                      | 0,03 / 0,05              |
| Viña del Mar      | D                  | Benidorm           | 0.07       | 0.36              | 12                      | 0,15 / 0,24              |
| Santiago de Chile | E                  | Las Condes         | 0.15       | 0.73              | 15                      | 0,23 / 0,27              |

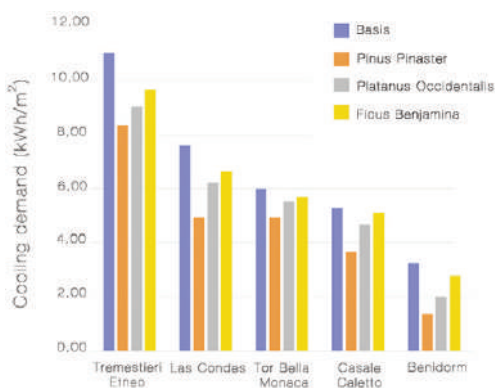
| City              | Residential Sector | District           | UHI Max (night) | UHI Max (day) |
|-------------------|--------------------|--------------------|-----------------|---------------|
| Rome              | A                  | Tor Bella Monaca   | 3.7             | -1            |
|                   | B                  | Casale Caletto     | 2.4             | -0.8          |
| Catania           | C                  | Tre Mestieri Etneo | 2.8             | -1.1          |
| Viña del Mar      | D                  | Benidorm           | 2               | -0.4          |
| Santiago de Chile | E                  | Las Condes         | 6.1             | -1.5          |

| City                      | Residential Sector | District           | No. of Cases | Energy Saving Potential |             |                 |               |                     |
|---------------------------|--------------------|--------------------|--------------|-------------------------|-------------|-----------------|---------------|---------------------|
|                           |                    |                    |              | Very Low (0-5%)         | Low (5-15%) | Medium (15-20%) | High (25-35%) | Very High (35-100%) |
| Rome                      | A                  | Tor Bella Monaca   | 12           | 3                       | 7           | 1               | 0             | 1                   |
|                           | B                  | Casale Caletto     | 30           | 2                       | 14          | 8               | 0             | 6                   |
| Catania                   | C                  | Tre Mestieri Etneo | 12           | 1                       | 5           | 3               | 1             | 2                   |
| Viña del Mar              | D                  | Benidorm           | 36           | 0                       | 2           | 12              | 10            | 12                  |
| Santiago de Chile         | E                  | Las Condes         | 30           | 0                       | 11          | 5               | 9             | 5                   |
| <b>Total No. of Cases</b> |                    |                    | <b>120</b>   | <b>6</b>                | <b>39</b>   | <b>29</b>       | <b>20</b>     | <b>26</b>           |

**Tab. 1** | Urban configuration parameters inserted in the UWG software to obtain the time cards used in the simulations (credit: the Authors, 2022).

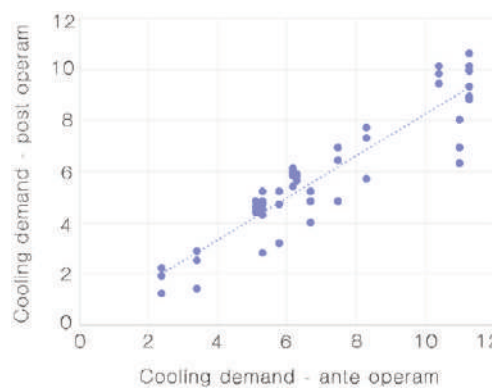
**Tab. 2** | Minimum (day) and maximum (night) intensity values of the heat island (UHI) resulting from the UWG software (credit: the Authors, 2022).

**Tab. 3** | Energy saving potential obtained in the different layouts according to the case studies and the used tree species (credit: the Authors, 2022).



**Fig. 21** | Reduction of cooling loads in the different urban frameworks according to the building morphology and the tree species (credit: the Authors, 2022).

**Fig. 22** | Improvement potential of buildings' energy behaviour in the post-construction stage compared to the pre-construction stage (credit: the Authors, 2022).



areas, where buildings occupy a portion of the built space and the trees are positioned at a short distance (Case C and D). However, the compactness and quantity of trees to plant can have a higher cooling potential in higher-density urban frameworks, where, despite the excessive height of the buildings, there is wider availability of outdoor spaces, in terms of extension and variability of the tree species used (Case A, B and E; Fig. 22).

Understanding the complexity of environmental, physical and energetic phenomena that occur between buildings, trees and urban framework can represent a core knowledge to create new cognitive systems and develop innovative application tools to support future urban transformation processes. The results obtained from the simulations will be used to create an information database. It will contain the energy-saving potentials concerning the insertion of certain tree species, in specific urban frameworks of the Mediterranean climate, within predefined threshold values.

A limit to the dissemination and affirmation of the study as a practice is the quantity and level of precision of necessary information. Data modelling through interoperable programmes can compromise the reliability of the results, for which appropriate simplifications must be provided, also to make them accessible to multiple categories of users with different skills. From this point of view, the use of machine-learning techniques can be useful to rationalize the procedures more, imagining the development of a specific number of parameters to be used for training the chosen classification algorithm. Some examples can be the climate zone, the altitude and latitude, the distance from the sea, the type of settlement framework of the sector, the year of construction of the buildings, the construction technologies and the state of conservation, the building density, the height and number of floors, number of shaded facades, orientation, platform, distance and type of tree species. The quality of the predictions, and the project outputs, will depend on the quality and quantity of the inventory data. They might be limited to some predefined aspects of the project, allowing their adaptability and replicability in multiple contexts of use, other microclimates, and settlement frameworks.

**Conclusions** | Therefore, the possibility to use data derived from the simulations and reprocessing them with machine-learning techniques, through predictive intelligence systems, is one of the future evolutions of research. It aims to redefine optimal spatial setups also in the event of the introduction of more building types (e.g. schools, offices, hospitals, etc.) and new tree species, updating the results of ongoing research with a series of parameters useful to control the urban phenomena of the heat island and the optimization of energy demand for (existent and new) buildings. The monitored values could be used to create maps of climate and energy-environmental vulnerability and computerized tools to support future decision-making and planning processes in the urban environment – the creation of IT platforms that can be used via App for PC or smartphone – capable of

processing the information contained in the database and to manage heterogeneous data, that is to automatically learn some functions, to adapt the design solutions to the requests of clients and end-users.

The implementation of these tools will require the contribution of more specialized professionals (e.g. agronomists, landscape architects, forestry technicians, economists, digital and IT service providers, etc.), broadening the cultural horizons and operational implications of research, by increasingly sharing knowledge. One original aspect of the studio will be the possibility to integrate land permeability and use indices with the values of potential energy improvement of the settlement frameworks – new

and existent – also through economic assessments and cost-benefit analyzes, providing for the use of sensor devices as well as interoperability with GIS and LIDAR applications, capable of providing data on an urban scale and information on uses and land coverage.

The symbiotic interrelation established between trees and the built environment has enabled to make effective simulations capable of providing a general picture of energy-environmental parameters and values that can affect the energy demand of buildings and to evaluate the effects of the presence or placement of natural elements outdoors for energy-saving and indoor consumption reduction. The effective availability of outdoor space for placing trees can

be a fundamental variable in the projects, in the assessment for technical and economic feasibility and in identifying optimal design scenarios and may affect the variability of urban planning standards to be allocated to green areas and trees in cities. The data on the land use, together with energy-environmental parameters linked to the introduction of specific tree species in outdoor spaces available in urban areas, can guide sustainable transformation and management projects in cities. They should consider both energy efficiency and environmental impacts, limiting the risks associated with excessive land consumption and carbon emissions.

## Notes

1) In ecology, the term ‘ecosystem’ means the collection of all living and non-living components in a particular area or environment (e.g. park, lake, pond, etc.) belonging to nature, capable of providing functions or ‘ecosystem services’, that directly or indirectly contribute to human wellbeing. The Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005) groups the ‘ecosystem services’ into three main categories with different functions: regulation (e.g. atmospheric gases, erosion and habitat for biodiversity), supply (e.g. food, raw materials, biologic variability), and culture, (e.g. aesthetic, recreational and educational values).

2) For more information on the main research policies in Europe, see, as example, the following websites: [ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/nature-based-solutions\\_en](http://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/nature-based-solutions_en); [ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/nature-based-solutions/research-policy\\_en](http://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/nature-based-solutions/research-policy_en); [ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/index\\_en.htm#:~:text=Green%20infrastructure%20is%20a%20strategically,and%20climate%20mitigation%20and%20adaptation](http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/index_en.htm#:~:text=Green%20infrastructure%20is%20a%20strategically,and%20climate%20mitigation%20and%20adaptation); [ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/strategy/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/strategy/index_en.htm); [op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8bb07125-4518-11eb-b59f-01aa75ed71a](http://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8bb07125-4518-11eb-b59f-01aa75ed71a) [Accessed 21 March 2022].

3) The reference are the Action and Investment Plans defined with the Renovation Wave Initiative and the new initiatives promoted by the European Green Deal and the New European Bauhaus. See, as example, the following websites: [ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP\\_20\\_1835](http://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_20_1835); [ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](http://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en); [europa.eu/new-european-bauhaus/about/delivery\\_en](http://europa.eu/new-european-bauhaus/about/delivery_en) [Accessed 21 March 2022].

4) One of the Sustainable Development Goals promoted by the United Nations in the 2030 Agenda is to ensure healthy lifestyles and adequate wellbeing for all citizens, improving urban resilience and reducing the risks associated with climate change through the sustainable management of natural ecosystems and the increase in biodiversity. We refer in particular to Goals 11 – Sustainable Cities and Communities, 13 – Climate Actions, and 15 – Life of Lands (UN, 2015).

5) The research was carried out with the support of the Project Fondecyt 1200275 (2020-2022), awarded in Chile by Anid and by MIUR-Sapienza funds for Visiting Professor (2021), by a multidisciplinary working group made up of architects and engineers with different skills on the subjects of urban planning, technological and energy efficiency, and green solutions to limit the impacts of climate change in cities.

6) Some of the parameters that represent the most the benefits and the ecosystem services created from the trees’ presence in cities are: the percentage of pollutants (kg/ha), particulate matter (Pm) or tons of carbon re-

moved each year (tons / a), the absorption of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), the decrease of temperatures (°C), the reduction of noise levels (dBA), the biodiversity index (Cbi).

7) To find out more see the website: [climate.onebuilding.org](http://climate.onebuilding.org) [Accessed 21 March 2022].

## References

Andreucci, M. B. (2017), *Progettare Green Infrastruttura – Tecnologie, valori e strumenti per la resilienza urbana*, Wolters Kluwer, Italia.

Balogun, A. A., Morakinyo, T. E. and Adegun, O. B. (2014), “Effect of tree-shading on energy demand of two similar buildings”, in *Energy Buildings*, vol. 81, pp. 305-315. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.05.046](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.05.046) [Accessed 21 March 2022].

Calcerano, F. and Martinelli, L. (2016), “Numerical optimization through dynamic simulation of the position of trees around a stand-alone building to reduce cooling energy consumption”, in *Energy Buildings*, vol. 112, pp. 234-243. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.023](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.023) [Accessed 06 April 2022].

EEA – European Environmental Agency (2020), *Urban adaptation in Europe – How cities and towns respond to climate change*, EEA Report, no. 12/2020. [Online] Available at: [eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-in-europe](http://eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-in-europe) [Accessed 21 March 2022].

European Commission (2021), *The EU and nature-based solutions*. [Online] Available at: [ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/nature-based-solutions\\_en](http://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/nature-based-solutions_en) [Accessed 21 March 2022].

European Commission (2020), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A Renovation Wave for Europe – Greening our buildings, creating jobs, improving lives*, document 52020DC0662, 662 final. [Online] Available at: [eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1603122220757&uri=CELEX:52020DC0662](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1603122220757&uri=CELEX:52020DC0662) [Accessed 21 March 2022].

European Commission (2013), *Building a Green Infrastructure for Europe*, European Union. [Online] Available at: [ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/green\\_infrastructure\\_broc.pdf](http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/green_infrastructure_broc.pdf) [Accessed 21 March 2022].

Givoni, B. (1991), “Impact of planted areas on urban environmental quality – A review”, in *Atmospheric Environment – Part B – Urban Atmosphere*, vol. 25, issue 3, pp. 289-299. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/0957-1272\(91\)90001-U](https://doi.org/10.1016/0957-1272(91)90001-U) [Accessed 21 March 2022].

IEA – International Energy Agency (2018), *The Future of Cooling – Opportunities for Energy-Efficient Air Conditioning*. [Online] Available at: [doi.org/10.1787/9789264301993-en](https://doi.org/10.1787/9789264301993-en) [Accessed 21 March 2022].

Laband, D. and Sophocleus, V. (2009), “An experimental analysis of the impact of tree shade impacts on

electricity consumption”, in *Arboriculture & Urban Forestry*, vol. 35, issue 4, pp. 197-202. [Online] Available at: [doi.org/10.48044/jauf.2009.033](https://doi.org/10.48044/jauf.2009.033) [Accessed 21 March 2022].

MEA – Millennium Ecosystem Assessment (2005), *Ecosystems and Human Well-Being – Synthesis*, Island Press, Washington (DC). [Online] Available at: [millenniumassessment.org/en/Synthesis.aspx](http://millenniumassessment.org/en/Synthesis.aspx) [Accessed 21 March 2022].

Mussinelli, E., Tartaglia, A., Bisogni, L. and Malcev-schi, S. (2018), “Il ruolo delle Nature-Based Solutions nel progetto architettonico e urbano | The role of Nature-Based Solutions in architectural and urban design”, in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 15, pp. 116-123. [Online] Available at: [doi.org/10.13128/Techne-22112](https://doi.org/10.13128/Techne-22112) [Accessed 24 January 2022].

Palme, M., Privitera, R. and La Rosa, D. (2020), “The shading effects of Green Infrastructure in private residential areas – Building Performance Simulation to support urban planning”, in *Energy and Buildings*, vol. 229, 110531, pp. 1-20. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110531](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110531) [Accessed 21 March 2022].

Privitera, R., Evola, G., La Rosa, D. and Costanzo, V. (2021), “Green Infrastructure to Reduce the Energy Demand of Cities”, in Palme, M. and Salvati, A. (eds), *Urban Microclimate Modelling for Comfort and Energy Studies*, Springer, Cham, pp. 485-503. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/978-3-030-65421-4\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-030-65421-4_23) [Accessed 21 March 2022].

Santamouris, M. and Kolokotsa, D. (2016), *Urban Climate Mitigation Techniques*, Routledge, London. [Online] Available at: [doi.org/10.4324/9781315765839](https://doi.org/10.4324/9781315765839) [Accessed 21 March 2022].

Tiwari, A., Kumar, P., Kalaiarasan, G. and Ottosen, T.-B. (2021), “The impacts of existing and hypothetical green infrastructure scenarios on urban heat island formation”, in *Environmental Pollution*, vol. 274, 115898, pp. 1-14. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115898](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115898) [Accessed 21 March 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](http://un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E) [Accessed 10 November 2021].



## IL PROGETTO DI INFRASTRUTTURE VERDI PER LE ACQUE PIOVANE

Note di metodo da un caso studio

## GREEN STORMWATER INFRASTRUCTURES RESEARCH THROUGH DESIGN

Method notes from a case study

Renata Valente, Roberto Bosco, Savino Giacobbe, Salvatore Losco

### ABSTRACT

La comprensione delle interrelazioni tra ambiente naturale e costruito è alla base dei criteri di riconfigurazione delle aree antropizzate. A partire dai risultati di un progetto di ricerca sulla riqualificazione degli spazi aperti urbani di un caso pilota di città razional-comprendensiva, si è testata l'implementazione di una rete di infrastrutture verdi per l'acqua piovana, considerando una porzione del reticolo idrografico. Si presenta un metodo per la valutazione dei benefici indotti dalle soluzioni basate sulla natura, formulando una ricerca tramite progetto per confrontare le performance della vegetazione sulla base di analisi effettuate a scale diverse. L'indagine sulle relazioni tra i parametri ambientali considerati contribuisce a innovare l'approccio alla riqualificazione ambientale.

Understanding the interrelations between natural and built environments is at the base of the reconfiguration criteria of man-made areas. Starting from the results of a research project on the requalification of urban outdoor spaces in a rational comprehensive city pilot case, the implementation of green stormwater infrastructures was tested, considering a section of the hydrographic network. The method hereby presented evaluates the benefits caused by nature-based solutions, formulating a research through design project to compare the performance of the vegetation based on analyses carried out at different scales. The investigation of the relations among the considered environmental parameters contributes to innovating the environmental requalification approach.

### KEYWORDS

progettazione ambientale, interscalarità, servizi ecosistemici, valutazione microclimatica, soluzioni basate sulla natura

environmental design, interscalarity, ecosystem services, microclimate assessment, nature-based solutions

**Renata Valente**, PhD and Architect, is an Associate Professor at the Department of Engineering at the 'Luigi Vanvitelli' University of Campania in Aversa (Italy). She carries out research mainly in the field of environmental design specifically urban outdoor areas and coasts requalification. E-mail: renata.valente@unicampania.it

**Salvatore Losco**, PhD and Engineer, is an Associate Professor at the Department of Engineering at the 'Luigi Vanvitelli' University of Campania in Aversa (Italy). He carries out research mainly in the field of urban design and planning and sustainable regeneration of the territory. E-mail: salvatore.losco@unicampania.it

**Roberto Bosco**, Architect, is a PhD Candidate at the Department of Engineering at the University of Campania 'Luigi Vanvitelli' in Aversa (Italy). He carries out research mainly in the field of urban outdoor areas' requalification and sustainable design technology. E-mail: roberto.bosco@unicampania.it

**Savino Giacobbe**, Civil Engineering, carries out research at the Department of Engineering of the 'Luigi Vanvitelli' University of Campania in Aversa (Italy) mainly in the field of urban outdoor areas requalification and ecological rebalancing of the contexts connected with road infrastructures. E-mail: savino.giacobbe@studenti.unicampania.it

Gli interventi di trasformazione delle aree antropizzate basati sulla natura, per risultare efficaci, richiedono l'individuazione e la comprensione delle interrelazioni sistemiche tra ambiente naturale e costruito. Al fine di selezionare scelte progettuali sostenibili è fondamentale valutare, accanto ai ritorni locali immediatamente ottenibili, il potenziale di up-scaling o replica delle soluzioni adottate. Il mutato paradigma natura/artificio necessita, infatti, di una visione inter-scalare secondo un approccio sistemico, in grado di progettare soluzioni, adottando metodologie e pratiche di natura trans-disciplinare (Albert et alii, 2021). Le misure 'verdi' sono intrinsecamente portatrici di soluzioni per lo sviluppo urbano capaci di rispondere alle sfide del benessere umano promuovendo al contempo la biodiversità sistemica (Santolini, 2010).

La riqualificazione ambientale delle infrastrutture viarie urbane è per eccellenza l'ambito in cui coesistono scale di intervento e competenze scientifiche tradizionalmente separate, che vanno adeguatamente combinate per concepire una visione integrata delle reti grigie, verdi e blu. L'interpretazione interscalare dell'area vasta e delle condizioni locali consente di ripensare gli spazi aperti e della mobilità secondo un approccio ecosistemico, sia attraverso il piano urbanistico, che governa i cambiamenti da un punto di vista strategico regolamentare, sia mediante soluzioni tecniche, basate sulla natura, applicabili localmente. Le infrastrutture verdi, integrando i criteri e le tecniche per il progetto sostenibile, rappresentano il framework ideale a supporto della riprogettazione della vegetazione, del drenaggio delle acque meteoriche (Hoyer et alii, 2011) e dei canali per la mobilità, come si evince dalle già numerose applicazioni descritte in manuali e riportate dalla letteratura scientifica (Kurtz, 2009; Page, 2015; Valente, 2017; Losco, Macchia and Marino, 2013).

All'antica contrapposizione tra ambiente naturale e costruito/antropizzato va man mano sostituendosi il concetto di collaborazione/integrazione tra i due sistemi. Ciò avviene a livello della pianificazione, attuando pratiche di Eco-Planning (Wong and Yuen, 2011) che tendono a riqualificare le infrastrutture per la mobilità e gli spazi aperti delle aree urbanizzate. Nel momento attuativo, l'applicazione di criteri di progettazione ambientale sperimenta sul campo la coesistenza collaborativa delle reti grigie, rosse, verdi e blu.

L'espansione incontrollata delle aree antropizzate avvenuta a partire dagli anni '50, ha ridotto la disponibilità di spazio fisico e le connessioni con la natura, aumentando i rischi per la salute umana derivanti dall'aumento della densificazione e dal cambiamento climatico. L'isola di calore che caratterizza il clima di molte aree urbane ha portato a un ulteriore peggioramento della qualità di vita dei cittadini; queste condizioni hanno spinto a ricercare soluzioni innovative multiscopo, che utilizzino il verde in quanto elemento tecnico e non solo naturale, capace di integrarsi nelle nuove forme del costruito e in grado di avviare un processo di naturalizzazione della città.

Le evidenze scientifiche sviluppate nell'ambito di un progetto finanziato dal bando PRIN 2015<sup>1</sup> hanno testato l'efficacia dell'implementazione di infrastrutture verdi anche negli insedia-

menti dell'Italia meridionale. Sulla scorta delle esperienze americane sulle Green Stormwater Infrastructure – GSI (Valente, 2017), si è studiato un modello di buone pratiche per la gestione sostenibile delle acque meteoriche stradali nel processo di riqualificazione ambientale di un'area urbana a nord di Napoli, analizzando i benefici derivanti dall'integrazione di Nature-based Solutions (Valente et alii, 2021a).

**Obiettivi dello studio** | Ispirandosi ai suddetti principi, nell'ipotesi di riqualificazione degli spazi aperti urbani di un tessuto campione di città razional-comprensiva di un'area a nord di Napoli, si è testata l'implementazione di una rete di GSI, considerando una porzione del reticolo idrografico locale sino a ora non studiata, per una riprogettazione del verde urbano finalizzata a studiare i servizi ecosistemici delle soluzioni basate sulla natura. La ricerca tende a definire un metodo per la valutazione di tali benefici, attraverso la formulazione di una 'research through design' per confrontare il grado di performance degli interventi ipotizzati sulla base di analisi effettuate a scale diverse.

Particolare attenzione si è posta alle interrelazioni tra i risultati dei diversi indicatori prescelti e le condizioni morfologiche e microclimatiche, per comprendere le ricadute di carattere ambientale nei luoghi di applicazione. L'approccio valuta, quindi, il potenziale di up-scaling e/o replica di una data soluzione in condizioni differenti, definendo metodi per ottenere dati utili e di alta qualità per la pianificazione degli interventi. Lo studio si propone di dimostrare quali benefici può produrre una progettazione di tipo olistico.

**Eco-Planning e rigenerazione sostenibile** | La pianificazione urbanistica tradizionale frammenta e compromette gli ecosistemi poiché influenza la gestione delle acque, la mobilità, la densità e tutti gli altri elementi costitutivi dell'ambiente urbano. L'Eco-Planning punta alla bio-integrazione tra i sottosistemi antropici e quelli naturali per progettare quattro infrastrutture: la prima è quella verde della natura, la seconda quella blu dell'acqua, la terza quella grigia ingegneristica e la quarta è l'infrastruttura rossa umana, che include il contesto costruito, le attività antropiche e i sistemi economici, legislativi e sociali (Yeang, 2009).

La riprogettazione sostenibile degli insediamenti assegna ai servizi ecosistemici un ruolo fondamentale nelle trasformazioni del territorio; le infrastrutture verdi (Austin, 2014) costituiscono un'opportunità per il raggiungimento di tale obiettivo. Non meno importanti risultano le infrastrutture blu in quanto la gestione delle risorse idriche sarà una delle principali sfide del XXI secolo. Il Water Sensitive Urban Design (Hoyer et alii, 2011) fornisce tecniche valide per progettare uno schema di drenaggio sostenibile per gestire l'acqua piovana. In questo quadro interpretativo generale, le GSI possono essere considerate come una tecnica di bio-integrazione/interazione tra le infrastrutture verdi e blu con interconnessioni anche con le infrastrutture rosse e grigie.

Il caso pilota fa parte di un quartiere di recente espansione di Aversa (Fig. 1), città che nel secondo dopoguerra ha registrato un forte consumo di suolo impermeabilizzato non giustifica-

to dal corrispondente incremento demografico (50.640 ab.; Istat, 2021), causa principale di un peggioramento delle qualità ambientali urbane. Dagli anni Settanta fino al 2000 la pianificazione urbanistica è stata disciplinata da un regolamento edilizio con annesso Programma di Fabricazione e dal 2001 da un Piano Regolatore Generale tutt'ora vigente. L'area si estende per 8,26 ha, quasi totalmente impermeabilizzati mentre solo il 6,5% è sistemata a verde. La destinazione d'uso prevalente è quella residenziale; sono altresì presenti diversi servizi a uso pubblico che comportano un'elevata domanda di mobilità. Il censimento quantitativo e qualitativo del verde pubblico e privato ha consentito l'elaborazione di una cartografia tematica che registra una scarsa presenza di alberi, conseguente alla concezione residuale attribuita alla vegetazione nel progetto dello spazio aperto.

Il caso pilota è rappresentativo di almeno il 70% del patrimonio edilizio italiano e può quindi essere considerato paradigmatico per testare l'applicazione di una rete di GSI, i cui risultati potrebbero essere utilizzati tanto negli strumenti di pianificazione urbanistica che nei regolamenti edilizi.

#### **Research through neighbourhood design** | La

Research through Design pone il progetto ambientale al centro dell'indagine sperimentale, basandosi su studio, registrazione e valutazione, individuando una direzione di ricerca relativa ai requisiti site-specific e una alla conoscenza generale. In tal senso, si è proposto uno studio per la riqualificazione del sito pilota in modo da estrapolare modelli di indagine e soluzioni replicabili in condizioni analoghe. Sfruttando i dati scaturiti dal rilievo sistematico del sito ed evolvendone l'elaborazione, si è pervenuti alla definizione di una metodologia di analisi multiscalare che, a partire dai dati meteorologici rilevati da Arpa Campania, ha prodotto le simulazioni termo-fluidodinamiche di PMV (Predicted Mean Vote), PET (Physiological Equivalent Temperature) e temperatura potenziale del luogo per le ore 9:00, 12:00 e 15:00. Parallelamente agli aspetti operativi è stato studiato l'impatto economico dei servizi ecosistemici forniti dalle soluzioni adottate, utile per stabilire il miglior compromesso tra efficacia ecologica e indotto connesso.

A partire dalle considerazioni di area vasta proprie della ricerca di riferimento, sono stati considerati il sottobacino idrografico identificato tramite applicativo GIS e gli ulteriori micro-bacini del reticolo urbano del caso pilota. Sono stati quindi selezionati gli indicatori adatti a verificare l'efficacia delle scelte progettuali elaborate. Gli indicatori appropriati (Tab. 1) sono stati raggruppati per prestazioni idrauliche, urbane, microclimatiche ed economiche (Losasso, 2017), pervenendo quindi ad una strategia di ricerca di tipo iterativo tra le fasi di Analisi, Progetto e Verifica, che ha permesso di raffinare i risultati ottenuti, selezionando le soluzioni più adeguate (Fig. 2).

La dinamica inter-scalare della ricerca ha permesso di individuare le aree in cui collocare le GSI (Stormwater Bump-out, Stormwater Planter, Stormwater Rain Garden) attraverso lo studio delle linee di deflusso delle acque per aumentare la permeabilità locale e la vegetazione, componendo attivamente tali infrastrutture, poiché depura-



**Fig. 1** | Territorial classification of the studied area located southwest of Aversa (source: Google Earth; graphics processed by R. Bosco, 2021).

l'acqua inquinata di deflusso. Le aree pedonali sono state ripensate affiancando fasce vegetate ai marciapiedi, in base alla larghezza della sede stradale, per migliorare la percezione sensoriale e il comfort degli utenti ma anche per una diminuzione dell'impatto sonoro del traffico veicolare e un maggiore assorbimento degli inquinanti aerei. Inoltre, si sono ridisegnati gli spazi pedonali, integrandovi una pista ciclabile e ripensando i sensi di marcia per ridurre il traffico e l'inquinamento acustico (Fig. 3).

La scelta delle essenze arboree ha favorito quelle a basso costo di gestione e in grado di autoriprodursi negli ambienti di impianto, privilegiando specie vegetali endemiche, adatte alla fitodepurazione e alle esigenze di benessere degli utenti. Per soddisfare le richieste di ombreggiamento, smaltimento delle acque piovane e mitigazione delle condizioni microclimatiche, si sono scelte le specie con caratteristiche morfo-fisiologiche più adatte, preferendo le autoctone, con soluzioni che permettano la coesistenza di comunità vegetali con caratteristiche e funzioni differenti (Villarreal, Semadeni-Davies and Bengtsson, 2004). Inoltre, sono state previste pratiche di manutenzione che coinvolgano la cittadinanza nella cura del verde nei periodi dell'anno più critici dal punto di vista climatico. Per creare ombra e diminuire la temperatura sono state selezionate specie arboree a maggiore xericità tra cui specie sempreverdi quali il 'Quercus ilex'; si sono altresì aggiunti ai preesistenti, altri individui di tiglio, albero caducifoglie, che insieme al 'Cercis siliquastrum' risulta adatto a mitigare gli effetti negativi invernali. Per minimizzare i problemi gestionali, si è prevista l'adozione di involucri contenitivi adeguatamente dimensionati, per consentire l'espansione degli apparati radicali senza arrecare danni all'assetto viario (Strumia in Valente et alii, 2021a).

In questo studio si utilizzano, inoltre, tre distinte tipologie di analisi originali (puntuale, lineare, globale), appositamente elaborate per con-

frontare il livello di performance degli interventi ipotizzati attraverso l'uso del software ENVI-Met<sup>2</sup>. Tali analisi hanno considerato la superficie trattata a verde, il numero di alberi, i rapporti BAF (Biotope Area Factor) e RIE (Riduzione Impatto Edilizio) tra le aree edificate e quelle permeabili, la profondità dei canyon urbani (Urban Aspect Ratio), oltre ai principali valori microclimatici (Oke, 1988; Fig. 4).

L'analisi puntuale individua i valori dei parametri considerati su una griglia opportunamente dimensionata per esaminare le condizioni microclimatiche di un'area circoscritta. La valutazione accurata delle condizioni dei luoghi selezionati in base agli indicatori da migliorare permette il confronto tra lo stato di fatto e il primo progetto 'A' (Fig. 5). L'analisi globale studia le variazioni dei parametri rilevati su tutta l'area in esame, per determinarne il comfort medio di fruizione; i valori ottenuti, riportati su un piano cartesiano sulle cui ascisse sono rappresentati i parametri e sulle cui ordinate la loro ricorrenza in valore percentuale, determinano un grafico che restituisce la variazione ( $\Delta$ ) presunta attraverso la funzione gaussiana (Fig. 6). L'analisi lineare, infine, permette di evidenziare gli andamenti dei parametri nelle sezioni urbane di aree soggette a condizioni climatiche critiche (Fig. 7). Ciò consente di controllare lo sviluppo lineare dei parametri microclimatici, concentrando l'attenzione su tratti specifici dei corridoi urbani e verificando i miglioramenti apportati dal progetto in prossimità dei nuovi elementi vegetali. La sovrapposizione grafica tra le sezioni stradali e l'andamento dei parametri microclimatici permette una lettura immediata delle condizioni specifiche dei tratti studiati. Ciascuna sezione è assimilabile a una condizione urbana tipica, replicabile in condizioni analoghe.

Inoltre, l'area di studio è stata modellata per simulare la condizione di maggior dis-comfort (ore 15:00), triplicando il numero degli alberi di progetto (Progetto B), al fine di definire una soglia di ef-

ficacia delle dimensioni degli interventi e dei gradi di trasformabilità (Valente et alii, 2021b).

**I risultati delle modellazioni** | Il ripensamento della componente vegetale dell'area come un insieme di dispositivi eco-tecnologici di integrazione tra le reti verdi, blu e grigie ha consentito di ottenere, nelle simulazioni fluidodinamiche di progetto, miglioramenti fino al 30% per il PMV, fino al 3% per la temperatura potenziale dell'aria e fino al 5% per la PET, attraverso l'uso del software ENVI-Met (Tab. 2). Gli esiti delle modellazioni mostrano come la combinazione di soluzioni tecniche e vegetali nelle GSI consente di collettare il 100% di acqua stimata per una pioggia di 30 minuti con tempo di ritorno ventennale, facilitando l'infiltrazione e l'assorbimento ed evitando la modifica del sistema di drenaggio delle acque meteoriche esistente. La soluzione studiata fornisce un incremento delle aree permeabili del 213%, con un beneficio in termini di verde urbano fruibile del 165%, vale a dire 2 mq di verde in più per abitante, rispetto ai 0,8 mq riscontrati. Questi risultati vengono confermati dai valori incrementati del 54 e 49% rispettivamente ottenuti per gli indicatori di qualità urbana del RIE e BAF (Tab. 3).

Per determinare i benefici economici, ci si è avvalsi del software i-Tree Eco che, pur se finalizzato all'analisi di aree verdi di maggiore estensione, ha consentito un calcolo approssimativo del valore dei servizi ecosistemici indotti. Si è assimilata l'area in oggetto a una foresta urbana diffusa, caratterizzata da essenze esistenti e di nuovo impianto, stimando la riduzione dell'inquinamento (carbonio netto sequestrato annualmente) e del valore economico compensativo del bosco urbano (Fig. 8).

La verifica dei miglioramenti ottenibili attraverso gli indicatori considerati è stata effettuata sulle due aree specifiche di Piazza Bernini e del parcheggio a raso tra la Piazza e Viale degli Artisti, ridisegnato integrando la vegetazione esistente con specie arboree compatibili ed ecologicamente efficaci ed inserendo sedute e attrezzature (Fig. 9). Nell'area di Piazza Bernini, per ridurre le temperature e i valori di PMV in estate e l'effetto del vento in inverno, si è previsto l'aumento del numero di alberi ad alto fusto, con disposizione a 'quinconce' per una barriera anti-vento e la sostituzione della pavimentazione in asfalto con una più adeguata anche al controllo dell'albedo (Fig. 10). Si è verificato, così, che la riqualificazione degli spazi aperti attraverso un'adeguata progettazione del verde permette di migliorare i parametri microclimatici estivi senza alterare significativamente quelli invernali; in particolare, si riscontra la riduzione della temperatura dell'aria di circa un grado e il miglioramento del valore del PMV di circa mezzo punto.

La simulazione termo-fluidodinamica effettuata sullo schema di progetto triplicando il numero degli alberi (Progetto B) ha determinato un miglioramento rispetto alla modellazione dello stato di fatto pari al 33% per il PMV, al 3,4% per la Temperatura Potenziale, al 15% per la PET. Confrontando i risultati ottenuti dalle modellazioni sui progetti A e B, si osserva che il PMV migliora del 21%, la Temperatura Potenziale varia dello 0,8%, mentre la PET del 10%. Si desume che per ridurre i parametri microclimatici fino all'intervallo di comfort<sup>3</sup>, potrebbe occorrere un

ulteriore incremento del numero di alberi rispetto al Progetto A solo dello 0,8%, mentre il Progetto B supera il valore di comfort dello 0,40% (Tab. 4). L'interpretazione di questi dati ci consente di affermare che, pur avendo a disposizione spazi aperti di estensione ridotta, è possibile concorrere utilmente a ridurre il fenomeno dell'isola di calore urbana con una progettazione che utilizzi gli spazi verdi come risorsa ecologica attiva, riportando le condizioni ambientali entro le soglie di comfort.

Dal punto di vista economico, l'analisi costi-benefici ha permesso di determinare un VAN (Valore Attuale Netto) di 1,27 milioni di euro con un pay-back period di 5 anni grazie ai miglioramenti che il progetto apporta sia in termini di trasporto veicolare che per i nuovi alberi.

**Riflessioni conclusive e proiezioni future** | Le differenti metodologie sperimentate per la lettura dei dati di output del software ENVI-Met hanno consentito un approccio analitico nel processo di definizione degli interventi sulle aree in condizioni microclimatiche critiche, massimizzando i benefici derivanti dal progetto del verde urbano. L'applicazione dei metodi di analisi ha prodotto alcune considerazioni: in prima istanza, l'analisi globale risulta efficace per ampi spazi aperti, quali parchi urbani e grandi piazze, nei quali le condizioni climatiche sono omogeneamente distribuite. Questo tipo di analisi, che in un primo momento presentava problemi di affidabilità software nella simulazione delle condizioni ai bordi, è stata in seguito perfezionata nella sua ultima versione (5.0.2), raggiungendo un'accettabile affidabilità numerica. L'analisi puntuale è adatta a contesti a più alto indice di urbanizzazione, con maggiore efficacia in ambiti circoscritti quali strade, piazze e piccoli parchi urbani. In tale maniera, la valutazione del benessere microclimatico di queste aree, opportunamente inquadrate, non risente dell'eventuale errore dell'elaborazione del software lungo i margini. L'analisi lineare, infine, può essere utilizzata a supporto delle altre, in quanto permette descrizioni più dettagliate dell'area di studio per l'elaborazione di soluzioni specifiche.

Il lavoro presenta a studiosi e progettisti, oltre che a politici e tecnici delle Amministrazioni locali, una procedura flessibile per pianificare, progettare e controllare le infrastrutture verdi urbane e il loro contributo alla riqualificazione degli spazi aperti, favorendone una corretta gestione e fruizione, massimizzando i numerosi benefici ambientali e minimizzando i rischi.

La scelta di indagare sulle relazioni tra i diversi parametri ambientali considerati, correlandole alla configurazione degli spazi aperti urbani, costituisce un approccio innovativo alla riqualificazione ambientale di tali spazi. Il contributo è basato su una visione ecosistemica, che evidenzia limiti e caratteristiche del caso pilota a partire dall'inquadramento del sottobacino idrografico di riferimento e dal mosaico dei relativi micro-bacini. Inoltre, il processo metodologico ripercorre la dimensione interscalare nei due versi di percorrenza, dalla strategia generale alle soluzioni tecniche di dettaglio e viceversa. L'utilizzo combinato dei software di simulazione termofluidodinamica e di valutazione dei servizi ecosistemici, oltre al modello di lettura dei dati proposto,

| Domain          | Metrics  |
|-----------------|--|
| Hydraulics      | % of collected rainwater – New permeable areas           |
| Urban quality   | Usable urban green areas – RIE – BAF                     |
| Microclimate    | New shaded areas – PET – PMV – Air potential temperature |
| Socio-Economics | Bike path – Cost/Benefit Analysis                        |

Tab. 1 | Project performance indicators (credit: the Authors, 2022).

permette di individuare con maggiore accuratezza i benefici del verde urbano derivanti dalla progettazione ambientale, sia a livello di benessere che di convenienza economica.

Nei casi di studio internazionali analizzati sono ogni volta considerati indicatori appartenenti a un unico dominio: ad esempio, uno studio su Colonia (Depietri, Welle and Renaud, 2013), evidenzia che i servizi ecosistemici risultano efficaci in termini di regolazione del microclima, ma molto meno in termini di depurazione dell'aria, mentre a New York, l'efficacia degli alberi nella rimozione degli inquinanti atmosferici è stata stimata su valori molto bassi (tra 0,001% e 0,4%) a seconda della sostanza (Nowak, Crane and Stevens, 2006). Tali risultanze specifiche, che talvolta possono risultare fuorvianti, suggeriscono l'opportunità di considerare in maniera integrata le relazioni tra i valori espressi da diversi domini di indicatori nel progetto delle infrastrutture verdi urbane. Ciò comporta, pertanto, uno studio dei luoghi come quello proposto, propedeutico alla selezione del set degli indicatori più adatti a raggiungere obiettivi tra di essi complementari (Losasso et alii, 2020).

Il caso di studio presenta una riqualificazione degli spazi aperti, utilizzando opportunamente aree in partenza residuali e convertendole in dispositivi attivi di trasformazione ecologica. Un ulteriore avanzamento in tale direzione di ricerca potrà individuare range di requisiti prescrivibili nella regolamentazione edilizia, per garantire efficaci prestazioni ambientali ai fini del miglioramento del comfort microclimatico locale. I limiti della ricerca risiedono nella parziale affidabilità delle simulazioni software che, basate su modellizzazioni dei luoghi, non riescono a gestire la loro reale complessità e nella limitata possibilità di raffronto dei dati calcolati con quelli delle centraline di rilevamento, spesso distanti dai luoghi analizzati o lacunose di uno storico dei rilevamenti che consenta un'efficace azione predittiva.

Vanno considerate, inoltre, la difficoltà di implementare le GSI in contesti di margine urbano e la gestione dell'elemento vegetale in termini di componente tecnico, in quanto organismo vivente. Per verificare la replicabilità di tale metodologia di valutazione dei benefici della vegetazione in contesti urbani morfologicamente e climaticamente eterogenei occorreranno ulteriori approfondimenti quali la selezione degli indicatori adatti e la scelta delle specie vegetali in relazione alle condizioni ambientali e alle richieste di comfort. Lo studio condotto, con la sua diversificata metodologia, incoraggia a ulteriori applicazioni in contesti urbani scarsamente monitorati, replicando il modello e adattandolo alle esigenze e alle specifiche caratteristiche, integrando le

tipologie di dati e di lettura degli stessi, per una progettazione accurata di spazi aperti urbani fruibili e accoglienti.

The nature-based transformation projects of man-made areas to be effective require identifying and understanding the systemic interrelations between the natural and built environments. In order to select sustainable design choices, it is fundamental to evaluate, together with local immediately achievable benefits, the potential of up-scaling or replicating the used solutions. The modified nature/artificiality paradigm needs an inter-scalar vision, following a systemic approach, capable of designing by using trans-disciplinary methods and practices (Albert et alii, 2021). The 'green' measures intrinsically carry solutions for the urban development, capable of answering the new challenges of human wellbeing, also promoting systemic biodiversity (Santolini, 2010).

The environmental requalification of the urban road infrastructure is the quintessential field in which traditionally separate intervention scales and scientific skills coexist: they must be adequately combined to create an integrated vision of grey, green and blue networks. The interscalar interpretation of the large area and local conditions permits to redesign outdoor spaces and mobility by following an ecosystemic approach, both through the urban plan, which controls changes from a strategic normative point of view, and technical nature-based solutions, locally applicable. The green infrastructures – by integrating criteria and tech-

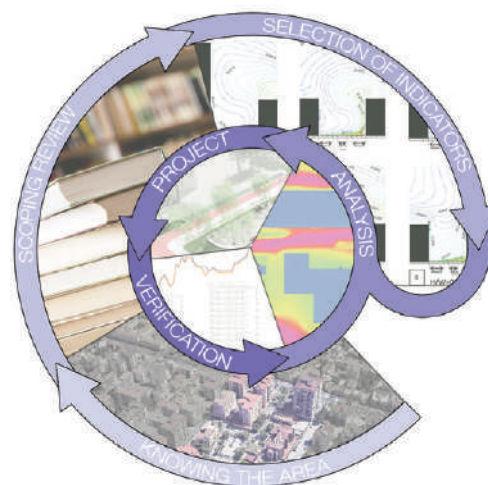


Fig. 2 | The repetition of the research/project method (credit: S. Giacobbe, 2022).



Fig. 3 | Project blueprint of the area of study (credit: S. Giacobbe, 2022).

niques for the sustainable project – represent the perfect framework to support the redesign of vegetation, stormwater runoff drainage (Hoyer et alii, 2011) and the channels for mobility, as it can be deduced from the already numerous uses described in manuals and reported in the scientific literature (Kurtz, 2009; Page, 2015; Valente, 2017; Losco, Macchia and Marino, 2013).

The old contraposition between natural and built/man-made environments is being gradually replaced by the concept of collaboration/integration between the two systems. This happens at the planning level, implementing Eco-Planning practices (Wong and Yuen, 2011) that tend to redevelop infrastructures for mobility and outdoor spaces in urban areas. At the implementation

stage, the use of environmental design criteria firsthand experiences the collaborative coexistence of grey, red, green and blue networks.

The uncontrolled expansion of man-made areas started in the 1950s has reduced the availability of physical space and the connection with nature, increasing the risks for human health, resulting from the increased density and climate change. The heat island characterizes the climate of many urban areas and has led to a further deterioration in the citizens' quality of life. These conditions have pushed to find multipurpose innovative solutions, using the greenery both as a natural and technical element, capable of integrating into the new buildings and starting a naturalization process in the cities.

The scientific proofs developed in a project funded by the 2015 PRIN<sup>1</sup> call for tenders have tested the effectiveness of the implementation of green infrastructures also in the cities of southern Italy. Based on the American experiences on Green Stormwater Infrastructure – GSI (Valente, 2017), a model for good practices was studied to sustainably handle stormwater runoffs on the streets in the environmental requalification process of an urban area north of Naples, analyzing the benefits deriving from the integration of Nature-based Solutions (Valente et alii, 2021a).

**Objectives of the study** | Inspired by the aforementioned principles, in the hypothesis of the redevelopment of urban outdoor spaces of a sam-

ple rational comprehensive city of an area north of Naples, the implementation of a GSI network was tested. The test considered a section of the local hydrographic network that has not been studied yet, for an urban greenery redesign aimed at studying the ecosystem services of nature-based solutions. The research aims to define a method to evaluate these benefits, by creating a ‘research through design’ able to compare the performance of the postulated interventions based on analyzes carried out at different scales.

Particular attention was paid to the interrelations between the results of the various selected indicators and the morphological and microclimatic conditions, to understand the environmental effects in the places of application. Therefore, the approach evaluates, the potential of up-scaling and/or replicating of a specific solution under different conditions, defining methods to obtain useful and high-quality data for planning projects. The study aims to show the benefits generated by holistic planning.

**Eco-planning and sustainable regeneration |**

The traditional urban design fragments and compromises the ecosystems as it affects water management, mobility, density and all other constituent elements of the urban environment. Eco-planning aims at bio-integrating man-made and natural subsystems to design four infrastructures: green for nature, blue for water, grey for engineering and red for humans. The latter includes the built environment, man activities and economic, legislative and social systems (Yeang, 2009).

The sustainable settlement redesign gives ecosystem services a fundamental role in transforming the territory; green infrastructures (Austin, 2014) are an opportunity to reach that objective. Equally important are the blue infrastructures, as the management of water resources will be one of the main challenges of the 21st century. The Water Sensitive Urban Design (Hoyer et alii, 2011) provides useful techniques to design a sustainable system for rainwater drainage. In this general picture, the GSI can be considered as a bio-integration/interaction technique between green and blue infrastructures with interconnections also to red and grey infrastructures.

The pilot case is part of a recent expansion district in Aversa (Fig. 1). After the Second World War, the city recorded a high impermeabilized land use not justified by its demographic increase (50,640 citizens; Istat, 2021), the main cause of a urban environmental quality worsening. From the Seventies until 2000 the urban design was regulated by a set of building regulations with a Construction Program and since 2001 with a still-in-force town planning scheme. The area extends for 8.26 ha, almost totally impermeabilised, while only 6.5% is landscaped. The main intended use is residential; there are also several services for public use that result in a high demand for mobility. The quantitative and qualitative census of the public and private green areas has allowed the creation of thematic maps that show a scarce presence of trees, resulting from the residual idea attributed to the greenery in designing the outdoor space.

The pilot case is representative of at least 70% of the Italian building heritage and can therefore be considered as an example to test the applica-

tion of a GSI network. Its results could be used both in urban planning tools and in building regulations.

**Research through neighbourhood design |**

The Research through Design places the environmental project at the core of the experimental investigation, based on study, record and assessment, identifying a research directed on site-specific requirements and one on general knowledge. In this sense, a study to requalify the pilot site was proposed, to extract survey templates and solutions replicable in similar conditions. Using the data coming from the site’s systematic survey and evolving its elaboration, a multiscale analysis method was defined. Starting from the meteorological and climatic data collected by Arpa Campania, it produced thermo-fluid dynamics simulations of PMV (Predicted Mean Vote), PET (Physiological Equivalent Temperature) and Potential Temperature of the place at 9 AM, 12 PM and 3 PM. Together with the operational aspects, the economic impact of ecosystem services provided by the used solutions was studied. It was useful to establish the best compromise between ecological efficiency and satellite activities.

Starting from wide area considerations typical of reference research, the drainage subbasin identified through the GIS application and the further micro-basins of the urban network of the pilot case were identified. Then, suitable indicators were selected to verify the effectiveness of the design choices made. The suited indicators (Tab. 1) were grouped by hydraulic, urban, microclimatic and economic performances (Losasso, 2017), obtaining an iterative research strategy with Analysis, Design and Verification stages, which made it possible to refine the results obtained, selecting the most suitable solutions (Fig. 2).

The inter-scalar dynamic of the research has allowed us to identify the areas in which to place the GSIs (Stormwater Bump-out, Stormwater Planter, Stormwater Rain Garden), after studying the water runoff paths to increase local permeability and vegetation, an active component of these infrastructures, since it purifies the polluted runoff water. The pedestrian areas have been redesigned by placing vegetative filter strips alongside the sidewalks, according to the width of the roadway, to improve the sensory perception and comfort of users but also to decrease the sound impact of vehicular traffic and to increase the absorption of air pollutants. Moreover, the pedestrian areas have been redesigned, integrating a cycle path, and changing the directions of traffic to reduce traffic and noise pollution (Fig. 3).

The tree crops chosen have a low maintenance cost and are capable of self-reproduce in the environment, preferring endemic plant species, suited to phyto-purification and the wellbeing needs of users. To satisfy the need for shading, stormwater drainage and mitigation of microclimatic conditions, the most suitable species with morpho-physiological characteristics were chosen. The indigenous plants were preferred, with solutions that allow the coexistence of plant associations with different characteristics and functions (Villarreal, Semadeni-Davies and Bengtsson, 2004). Moreover, maintenance practices have been envisaged to involve the citizens taking care of greenery during the most critical climate periods of the year. To provide shade and decrease the temperature, xer-

rophyte tree species were selected, including evergreen species such as ‘Quercus ilex’; other lime trees and deciduous trees have also been added to the pre-existing ones, together with ‘Cercis siliquastrum’ suitable for mitigating negative winter effects. To minimize maintenance problems, the use of adequately sized containment planters was envisaged, to allow the expansion of the roots without causing damage to the roads (Strumia in Valente et alii, 2021a).

In this study, three types of original analyzes are also used (punctual, linear, and global), purposely developed to compare the level of performance of the hypothesized interventions through the use of the ENVI-Met software<sup>2</sup>. These analyzes have considered the green surface, the number of trees, the BAF (Biotope Area Factor) and the Construction Impact Reduction (CIR) reports

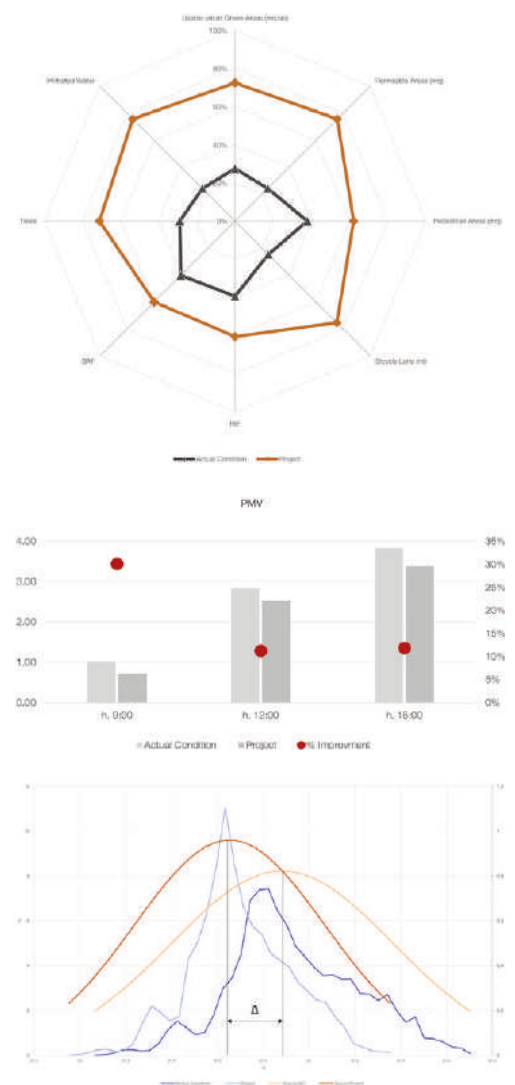


Fig. 4 | Comparison of the indicator values used for the study of the area between current condition and project (credit: the Authors, 2022).

Fig. 5 | Graphical representation of the Detailed Analysis for the PMV parameter; results obtained from the average of the values in summer show a 30% maximum improvement (credit: the Authors, 2022).

Fig. 6 | Graphical representation of the Global Analysis for the microclimatic parameter of the Potential Air Temperature; the approximation with a Gaussian function of the two indicative segments identifies, through the inter-axis Δ between the average values, the 1% micro-climatic improvement due to the project (credit: the Authors, 2021).



**Fig. 7** | Graphical representation of the Linear Analysis for the Surface Temperature parameter in summer; the values for the current condition and project are represented in the section, where each point of the segment is the average of the hours 9 AM, 12 PM, and 3 PM, indicating a maximum microclimatic improvement of about 50% (credit: S. Giacobbe, 2021).

| Summer                     | Actual Condition | h 9:00           |         |           | h 12:00          |         |           | h 15:00          |         |           |
|----------------------------|------------------|------------------|---------|-----------|------------------|---------|-----------|------------------|---------|-----------|
|                            |                  | Actual Condition | Project | % Improv. | Actual Condition | Project | % Improv. | Actual Condition | Project | % Improv. |
| PMV [-]                    | 1.02             | 0.71             | -30     | 2.84      | 2.52             | -11     | 3.83      | 3.38             | -12     |           |
| Potential Temperature [°C] | 26.2             | 25.63            | -2      | 30.36     | 29.61            | -2.5    | 32.99     | 32.14            | -2.6    |           |
| PET [-]                    | 27.5             | 26.3             | -4      | 36.3      | 34.5             | -5      | 40.35     | 38.25            | -5      |           |

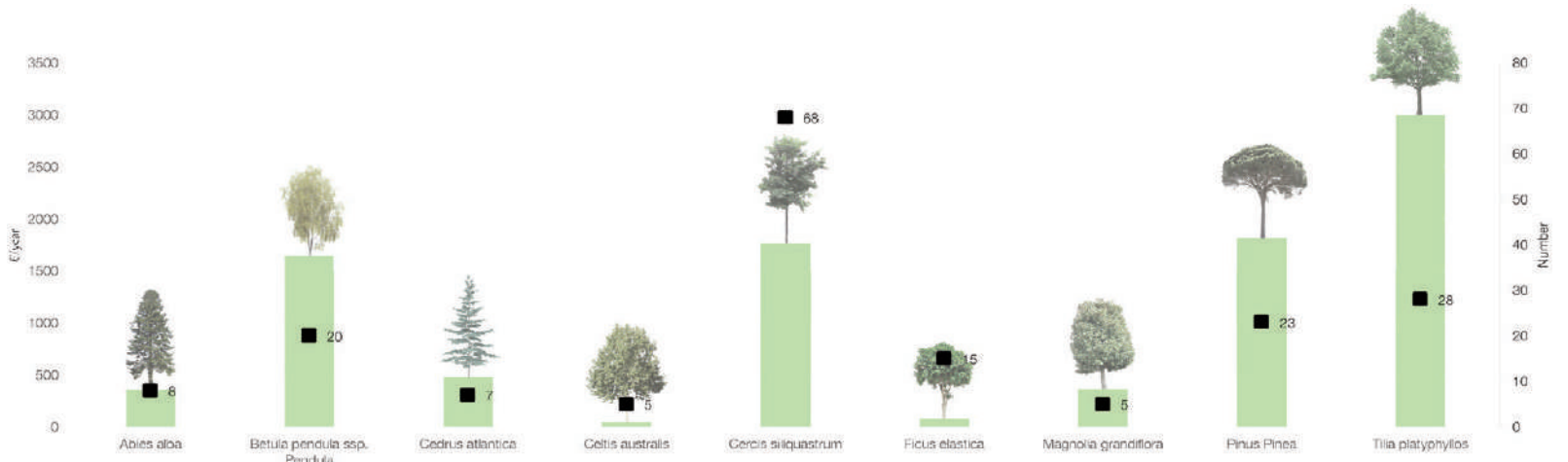
  

| Winter                     | Actual Condition | h 9:00           |         |           | h 12:00          |         |           | h 15:00          |         |           |
|----------------------------|------------------|------------------|---------|-----------|------------------|---------|-----------|------------------|---------|-----------|
|                            |                  | Actual Condition | Project | % Improv. | Actual Condition | Project | % Improv. | Actual Condition | Project | % Improv. |
| PMV [-]                    | -3.6             | -3.76            | -4      | -3.05     | -3.16            | -4      | -3.12     | -3.16            | -1      |           |
| Potential Temperature [°C] | 6.95             | 6.84             | -2      | 8.21      | 8.06             | -2      | 8.14      | 8.17             | 0.5     |           |
| PET [-]                    | 6.25             | 5.71             | -9      | 8.97      | 8.74             | -3      | 8.78      | 11.26            | 28      |           |

**Tab. 2** | Detailed Microclimatic Analysis Table for summer and winter; by defining the percentage difference, it was possible to determine the variations between the current condition and the project, where the minus sign indicates an improvement for summer and discomfort for winter (credit: the Authors, 2022).

|                                 |         | Actual Condition | Project |
|---------------------------------|---------|------------------|---------|
| Rainwater volume                | [mc]    | 667.92           | -       |
| Rainwater volume managed        | [mc]    | -                | 848.06  |
| Infiltrated water into the soil | [mc]    | -                | 777.8   |
| Water retention in sewer        | [mc]    | -                | 70.3    |
| Public area permeability        | [%]     | 6.5              | 17.3    |
| Usable urban green areas        | [mq/ab] | 0.76             | 2.02    |

**Tab. 3** | Modelling results (credit: the Authors, 2022).



between built and permeable areas, the value of urban canyons (Urban Aspect Ratio), and the main microclimatic values (Oke, 1988; Fig. 4).

The punctual analysis identifies the parameter values considered on an appropriately sized grid to examine the microclimatic conditions of a limited area. The careful evaluation of the selected places' conditions based on the indicators to improve allowed comparing the current condition and the first project 'A' (Fig. 5). The global analysis studies the parameter changes detected in the examined area, to determine the average comfort of usage. The values obtained – reported on a Cartesian plane where the parameters are represented on abscissas and their recurrence as a percentage on ordinates – determine a graph that shows the presumed variation ( $\Delta$ ) with a Gaussian function (Fig. 6). Finally, the linear analysis allows highlighting the trends of the parameters in urban sections of areas subject to critical climatic conditions (Fig. 7). This permits monitoring the linear development of the microclimatic parameters, focusing on specific parts of urban corridors, and verifying the improvements made by the project next to the new green elements. The visual overlap between the road sections and the trend of the microclimatic parameters allows us to immediately know the specific conditions of the sections studied. Each section is comparable to a typical urban condition, replicable under similar conditions.

Moreover, the area of study was modelled to simulate the most discomfort condition (3 PM), tripling the number of trees in the project (Project B), in order to define an effectiveness threshold for the size of the interventions and the degrees of transformability (Valente et alii, 2021b).

**Modelling results** | Redesigning the green component of the area as a set of eco-technological



**Fig. 8** | Carbon Storage' results in €/year obtained by elaborating the project through i-Tree Eco software; the graph portrays the benefits with the histograms and the number of trees for each species with the points, permitting to compare their performance (credit: S. Giacobbe, 2022).

**Fig. 9** | Top view of the 3D model of the project solution in Viale degli Artisti (credit: S. Giacobbe, 2021).

**Fig. 10** | Detail of the Stormwater Planter designed in Piazza Bernini (credit: S. Giacobbe, 2021).



| Summer Project Comparison  | Actual Condition | h 15:00   |           |                     |                     |
|----------------------------|------------------|-----------|-----------|---------------------|---------------------|
|                            |                  | Project A | Project B | % Improv. Project A | % Improv. Project B |
| PMV [-]                    | 3.83             | 3.38      | 2.6       | -12                 | -33                 |
| Potential Temperature [°C] | 32.99            | 32.14     | 31.87     | -2.6                | -3.4                |
| PET [-]                    | 40.35            | 38.25     | 34.24     | -5                  | -15                 |

**Tab. 4** | Comparison of the results obtained by the two fluid dynamics simulations (credit: the Authors, 2022).

tools to integrate green, blue and grey networks has allowed obtaining – in the project fluid dynamics simulations – improvements of up to 30% for the PMV, up to 3% for the potential air temperature, and up to 5% for PET, by using the ENVI-Met software (Tab. 2). The results of the modelling show that the combination of technical and vegetal solutions in the GSIs allows to collect 100% of the water estimated for rainfall of 30 minutes with a twenty-year return time, facilitating infiltration and absorption, avoiding modification of the existing stormwater runoff drainage system. The studied solution provides an increase of 213% in permeable areas, with a benefit of 165% on the accessible urban green, that is 2 square meters of green space per citizen, compared to the 0.8 square meters observed. These results are confirmed by the values increased of 54 and 49% respectively obtained for the CIR and BAF urban quality indicators (Tab. 3).

To determine the economical benefit, we have used the i-Tree Eco software. Although aimed at the analysis of larger green areas, it let to approximately calculate the value of the ecosystem services induced. The studied area was assimilated into a widespread urban forest, characterized by existing and newly planted trees, estimating the reduction of pollution (net carbon stored annually) and the compensatory economic value of the urban forest (Fig. 8).

The verification of the improvements that can be obtained with the considered indicators was carried out in two specific sections of Piazza Bernini and the ground-level parking lot between Piazza and Viale degli Artisti, redesigned by integrating the existing vegetation with compatible and ecologically effective tree species, adding seats and facilities (Fig. 9). In Piazza Bernini, to reduce temperatures and PMV values in summer and the effect of wind in winter, an increase of tall trees has been envisaged, arranged in a 'quinconce' to create a windproof barrier and the replacement of the asphalt pavement with a more suitable one also for controlling the albedo (Fig. 10). It has been verified that the redevelopment of urban outdoor spaces through an adequate greenery design allows improving the summer microclimatic parameters without significantly altering the winter ones; in particular, there is a reduction in the air temperature by about one degree and an improvement in the PMV value of about half a point.

The thermo-fluid dynamics simulation carried out using the project layout by tripling the number of trees (Project B) resulted in an improvement compared to the modelling of the current condition of 33% for PMV, 3.4% for Potential Temperature and 15% for PET. Comparing the results obtained by the modelling on A and B projects, it was noted that PMV improves by 21%, and the

Potential Temperature varies by 0.8%, while PET by 10%. Hence, to reduce the microclimatic parameters up to the comfort range<sup>3</sup>, a further increase in the number of trees could be required compared to Project A of only 0.8%, while Project B exceeds the comfort value of 0.40% (Tab. 4). The interpretation of these data allows us to state that, despite having limited open spaces available, it is possible to usefully contribute to reducing the heat island phenomenon with a design using green spaces as an active ecological resource, taking back the environmental conditions within the comfort thresholds.

Economically, the cost-benefit analysis has allowed determining an NPV (Net Present Value) of 1.27 million euros with a 5 years pay-back period, thanks to the improvements that the project brings both for vehicular transport and the new trees.

#### Final considerations and future developments

The different methods experimented to interpret the output data of the ENVI-Met software have allowed an analytical approach in the process of defining interventions in areas with critical microclimatic conditions, maximizing the benefits deriving from the urban green project. The application of the analysis methods has produced some considerations. First, the global analysis is effective for large outdoor spaces, such as urban parks and large squares, in which the climatic conditions are homogeneously distributed. In the beginning, this kind of analysis showed software reliability problems in simulating margins conditions, but it has been improved in its last version (5.0.2), obtaining acceptable numerical reliability. The punctual analysis is suited for context with a higher urbanization index, more effective in limited areas such as streets, squares, and small urban parks. Therefore, the evaluation of the microclimatic wellbeing of these areas, properly localized, is not affected by any software processing error along the margins. The linear analysis can be used to support the others since it allows detailed descriptions in the field of study to elaborate specific solutions.

The paper presents to scholars and designers, politicians and local authorities, a flexible procedure to plan, design, and control urban green infrastructures and their contribution to the requalification of outdoor spaces, promoting proper management and enjoyment, maximizing the numerous environmental benefits and minimizing risks.

Choosing to investigate the relations among the different environmental parameters considered, linking them to the configuration of urban outdoor spaces, is an innovative approach to their environmental requalification. The paper is based on an ecosystemic vision, highlighting the limits and characteristics of the pilot case, starting from

the classification of the reference hydrographic sub-basin and the mosaic of the related micro-basins. Moreover, the methodological process goes in both directions in the interscalar dimension, from the general strategy to the detailed technical solutions and vice versa. The joint use of the thermo-fluid dynamics simulation and ecosystem services evaluation software, together with the reading model of the proposed data, allows us to identify with greater accuracy the benefits of urban green areas deriving from environmental design, both for wellbeing and economic convenience.

In the analyzed international case studies, the indicators belonging to a single domain are considered each time. For example, a study in Cologne (Depietri, Welle and Renaud, 2013) showed that ecosystem services are effective for regulating the microclimate, but way less effective for air pollution removal; while in New York, the effectiveness of trees in air pollution removal was estimated to be very low (between 0.001% and 0.4%) depending on the pollutant (Nowak, Crane and Stevens, 2006). These specific results, which sometimes can be misleading, suggest the opportunity to consider as integrated the relationships between the values expressed by different indicator domains in the urban green infrastructures project. Therefore, this implies a study on the places such as the one proposed, introductory to the selection of the set of indicators most suitable for achieving complementary objectives (Losasso et alii, 2020).

The case study presents the requalification of outdoor spaces, appropriately using initially residual areas by converting them into active devices of ecologic transformation. A further improvement for the research could find a range of requirements prescribed in the building regulation, to guarantee effective environmental performances with the aim of improving local microclimatic comfort. The limits of the research are the partial reliability of software simulations which, based on place modellings, are unable to manage their real complexity and have little chance to compare the calculated data with those of the control units, often far from the places analyzed or lacking a survey history that allows an effective prediction.

Moreover, the difficulties of implementing the GSIs in neglected urban contexts and the management of the technical component of the greenery, as a living organism, should be considered. To verify the replicability of this vegetation benefits evaluation method in morphologically and climatically heterogeneous urban contexts further details will be needed. For example, selecting suitable indicators and choosing plant species considering environmental conditions and requests for comfort. The study carried out encourages, with its diverse methodology, further applications in poorly monitored urban contexts, replicating the model and adapting it to the needs and specific characteristics – integrating the types of data and their interpretation – for an accurate design of accessible and welcoming outdoor urban spaces.



**Fig. 11** | District Department of Energy and the Environment Headquarter, innovative curbside bioretention in the street right of way (credit: Prospect Waterproofing Co. – Green Roof, EcoSolutions – Bioretention, District Department of Energy and the Environment).

### Acknowledgements

The paper is the result of a joint reflection by the Authors. However, the introduction paragraph was written by R. Bosco, the paragraph ‘Eco-Planning and sustainable regeneration’ by S. Losco, the paragraph ‘Research through neighbourhood design’ by R. Valente, the paragraph ‘Modelling results’ by S. Giacobbe.

### Notes

1) 2015 PRIN ‘Adaptive design – Technological innovations for resilient regeneration of urban districts under climate change’; Principal Investigator: M. Losasso; Research Unit Leader of the ‘Luigi Vanvitelli’ University of Campania: R. Valente.

2) The microclimatic and perception values of the area were modelled on 31/07/2018 and 26/02/2019, respectively the hottest and coldest days of the last two years. For further information, see the Arpac website at: [cemecc.arpacampania.it/meteoambientecampania/php/](http://cemecc.arpacampania.it/meteoambientecampania/php/) [Accessed 20 April 2022]

3) The comfort of the Predicted Mean Vote ranges from -3 to +3.

### References

Albert, C., Brillinger, M., Guerrero, P., Gottwald, S., Henze, J., Schmidt, S., Ott, E. and Schröter, B. (2021), ‘Planning nature-based solutions – Principles, steps, and insights’, in *Ambio*, vol. 50, pp. 1446-1461. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/s13280-020-01365-1](https://doi.org/10.1007/s13280-020-01365-1) [Accessed 20 April 2022].

Austin, G. (2014), *Green infrastructure for landscape planning – Integrating human and natural system*, Routledge.

Depietri, Y., Welle, T. and Renaud, F. G. (2013), ‘Social vulnerability assessment of the cologne urban area (Germany) to heat waves – Links to ecosystem services’, in *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 6, pp. 98-117. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.ijdr.2013.10.001](https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2013.10.001) [Accessed 20 April 2022].

Hoyer, J., Dickhaut, W., Kronawitter, L. and Weber, B. (2011), *Water Sensitive Urban Design – Principles and Inspiration for Sustainable Stormwater Management in the City of the Future*, Jovis, Berlin (DE).

Istat (2021), *Popolazione residente al 1° Gennaio 2021 per sesso, età e stato civile (n) – Comune: Aversa*. [Online] Available at: [demo.istat.it/popres/index.php?anno=2021&lingua=ita](http://demo.istat.it/popres/index.php?anno=2021&lingua=ita) [Accessed 14 April 2022].

Kurtz, T. (2009), ‘Managing Street Runoff with Green Streets’, in She, N. and Char, M. (eds), in *International Low Impact Development Conference Low Impact Development for Urban Ecosystem and Habitat Protection 2008, November 16-19, 2008, Seattle, Washington, United States*, American Society of Civil Engineers Book Series, pp. 1-10. [Online] Available at: [doi.org/10.1061/9780784410097](https://doi.org/10.1061/9780784410097) [Accessed 20 April 2022].

Losasso, M. (2017), ‘Progettazione ambientale, rischi climatici, resilienza del costruito | Environmental design, climate risks, construction resilience’, in D’Ambrosio, V. and Leone, M. F. (eds), *Progettazione ambientale per l’adattamento al Climate Change – 2. Strumenti e indirizzi per la riduzione dei rischi climatici | Environmental Design for Climate Change Adaptation – 2. Tools and Guidelines for Climate Risk Reduction*, CLEAN, Napoli, pp. 152-169.

Losasso, M., Lucarelli, M. T., Rigillo, M. and Valente, R. (eds) (2020), *Adattarsi al clima che cambia – Innovare la conoscenza per il progetto ambientale | Adapting to the Changing Climate – Knowledge Innovation for Environmental Design*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN).

Losco, S., Macchia, L. and Marino, P. (2013), ‘Water Sensitive Urban Planning and soil consumption – The case-study of Aversa town and its conurbation’, in Ural, O., Pizzi, E. and Croce, S. (eds), *Changing Needs, Adaptive Buildings, Smart Cities – XXXIX World Congress on Housing Science*, vol. 1, International Association for Housing Science (IAHS), Milano, pp. 1349-1356.

Nowak, D. J., Crane, D. E. and Stevens, J. C. (2006), ‘Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States’, in *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 4, issues 3-4, pp. 115-123. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.ufug.2006.01.007](https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.01.007) [Accessed 20 April 2022].

Oke, T. R. (1988), ‘Street Design and Urban Canopy Layer’, in *Energy and Buildings*, vol. 11, issues 1-3, pp. 103-113. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/0378-7788\(88\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6) [Accessed 20 April 2022].

Page, J. L., Winston, R. J., Mayes, D. B., Perrin, C. and Hunt, W. F. (2015), ‘Retrofitting with innovative stormwater control measures – Hydrologic mitigation of impervi-

ous cover in the municipal right-of-way’, in *Journal of Hydrology*, vol. 527, pp. 923-932. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.046](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.046) [Accessed 20 April 2022].

Santolini, R. (2010), ‘Servizi ecosistemici e sostenibilità’, in *Ecoscienza*, vol. 3, pp. 20-23. [Online] Available at: [isprambiente.gov.it/files/biodiversita/Santolini\\_2010\\_Servizi\\_ecosistemici.pdf](http://isprambiente.gov.it/files/biodiversita/Santolini_2010_Servizi_ecosistemici.pdf) [Accessed 20 April 2022].

Valente, R., Mozingo, L. A., Bosco, R., Cozzolino, S., De Falco, C., Di Nardo, A., Di Natale, M., Donadio, C., La Rocca, F., Perneti, M., Strumia, S., Ruberti, D., Vigliotti, M., Bosco, R., Cappelli, E., Ferrara, P. and Moccia, G. (2021a), ‘Green street framework per aree urbane marginali mediterranee’, in Bologna, R., Losasso, M., Mussinelli, E. and Tucci, F. (eds), *Dai Distretti Urbani agli Eco-distretti – Metodologie di Conoscenza, Programmi Strategici, Progetti pilota per l’Adattamento Climatico | From Urban Districts to Eco-districts – Knowledge Methodologies, Strategic Programmes, Pilot Projects for Climate Adaptation*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN).

Valente, R., Mozingo, L., Bosco, R., Cappelli, E. and Donadio, C. (2021b), ‘Environmental Regeneration Integrating Soft Mobility and Green Street Networks – A Case Study in the Metropolitan Periphery of Naples’, in *Sustainability*, vol. 13, issue 15, 8195, pp. 1-22. [Online] Available at: [doi.org/10.3390/su13158195](https://doi.org/10.3390/su13158195) [Accessed 20 April 2022].

Valente, R. (2017), ‘Water sensitive urban open spaces – Comparing North American best management practices’, in *UPLand | Journal of Urban Planning, Landscape & Environmental Design*, vol. 2, n. 3, pp. 285-297. [Online] Available at: [doi.org/10.6092/2531-9906/5421](https://doi.org/10.6092/2531-9906/5421) [Accessed 20 April 2022].

Villarreal, E. L., Semadeni-Davies, A. and Bengtsson, L. (2004), ‘Inner city stormwater control using a combination of best management practices’, in *Ecological Engineering*, vol. 22, issues 4-5, pp. 279-298. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.06.007](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.06.007) [Accessed 20 April 2022].

Yeang, K. (2009), *Ecomasterplanning*, John Wiley & Sons, London (UK).

Wong, T.-C. and Yuen, B. (eds) (2011), *Eco-city Planning – Policies, Practice and Design*, Springer, Dordrecht (NL).

## SOLUZIONI GREEN PER LA SOTTRAZIONE E LO STOCCAGGIO DI CARBONIO NEI DISTRETTI URBANI

## GREEN SOLUTIONS FOR REMOVING AND STORING CARBON IN URBAN DISTRICTS

Fabrizio Tucci, Marco Giampaolletti

### ABSTRACT

Il paper presenta gli sviluppi di ricerca derivati dallo studio di oltre 100 specie arboree e arbustive presenti nel bacino del Mediterraneo secondo le capacità di assorbimento e stoccaggio di carbonio, definendo un quadro sinottico utile per gli attori del settore. L'introduzione di indici tassonomici specifici di stoccaggio definisce la fase sperimentale svolta in un quartiere di edilizia residenziale pubblica di Roma, illustrando una proposta progettuale di riforestazione urbana integrata con quella complessiva di rigenerazione di quell'area della Capitale. Il tema risulta di grande rilevanza scientifica alla luce delle strategie e delle politiche nazionali ed europee illustrate rispettivamente nel Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza e nella proposta, al vaglio del Parlamento Europeo, relativa alla New EU Forest Strategy Fit for 55.

This paper presents the research developments arising from the study of more than 100 tree and shrub species present in the Mediterranean basin according to their carbon absorption and storage capacities, defining an overview of use for parties active in the sector. The introduction of specific taxonomic storage indices defines the experimental phase performed in a public housing neighbourhood in Rome, illustrating a proposed urban reforestation project integrated with the overall one for regenerating the entire area of Italy's Capital. The issue is of great scientific importance in light of the national and European strategies and policies contained respectively in the National Recovery Plan and the proposed New EU Forest Strategy – Fit for 55, currently pending in the European Parliament.

### KEYWORDS

inverdimento urbano, serbatoi naturali di carbonio, neutralità climatica delle città, forestazione urbana, distretti verdi

urban greening, natural carbon sinks, climate neutrality of cities, urban forestation, green districts

**Fabrizio Tucci** is a Full Professor of Architecture Technology at Sapienza University of Rome (Italy), where he is Director of the Department of Planning, Design, Architecture Technology, Director of the Master of II level Environmental Technological Design, Coordinator of the Doctorate of Planning, Design, Architecture Technology. Among his research topics, there are national and international research activities in bioclimatic and bio-sustainable architecture, environmental technological design and green economy. Mob. +39 338/41.74.777 | E-mail: fabrizio.tucci@uniroma1.it

**Marco Giampaolletti**, Architect and PhD, is a Researcher at the PDTA Department of 'Sapienza' University of Rome (Italy) with a II level Master in Environmental Technological Design, and carries out his research activity in the field of climate mitigation strategies. Mob. +39 345/38.74.178 | E-mail: marco.giampaolletti@uniroma1.it

La trasformazione 'green' delle città e degli organismi urbani e periurbani, alla luce delle più recenti proposte politiche europee adottate in materia di clima, energia, uso del suolo, trasporti e gestione responsabile delle risorse, in distretti<sup>1</sup> resilienti, flessibili, adattivi e sostenibili, è divenuta questione non più rinviabile. Di fronte ai cambiamenti climatici, all'aumentare degli impatti da emissioni carboniche, alla crescente crisi energetica europea – accentuata di recente, a causa della crisi geopolitica in atto, dall'incremento dei costi per il reperimento e approvvigionamento di gas naturale da cui i Paesi membri dipendono per oltre il 42% (EEA, 2021) – risultano necessarie politiche e azioni urgenti per rendere gli abitanti delle città maggiormente resilienti e responsabili verso gli impatti derivati dal repentino cambiamento economico, sociale e ambientale.

Le misure di mitigazione (ma anche quelle di adattamento, soprattutto se ad esse integrate) per mantenere l'aumento della temperatura globale entro 1,5 °C potrebbero evitare parte degli impatti più devastanti del cambiamento climatico in atto, ma sappiamo bene che, da una parte, la loro attuazione è in netto ritardo rispetto alla tabella di marcia auspicata nel 2015, e dall'altra, che se le temperature medie dovessero raggiungere un aumento di 1,7-1,8 °C, gli ecosistemi oggi considerati vulnerabili raddoppierebbero la probabilità di estinzione, decuplicando la stessa al raggiungimento di +3 °C (IPCC, 2022); la preoccupazione cresce, l'urgenza di una seria operazione di decarbonizzazione, in primis nelle città, aumenta.

Tra le misure di rigenerazione urbana volte alla decarbonizzazione dei distretti, possiamo annoverare le pratiche di imboschimento e riforestazione, nonché le soluzioni tecnologiche ambientali, in primis le Nature-based Solutions, capaci di offrire risposte ai cambiamenti climatici, nonché alla qualità dell'abitare, tematiche sempre più connesse alla crescita urbana (Tucci, 2018). La strategia di incentivare azioni e soluzioni di infrastrutture verdi si inserisce in un più ampio dibattito scientifico in merito allo sviluppo di metodologie e strumenti di divulgazione integrata volti alla sostenibilità delle trasformazioni urbane in un'ottica di deep renovation (Andreucci, 2017). L'originalità del contributo è individuabile nella predisposizione di quadro sinottico, utile agli attori nei settori della riforestazione urbana e della selvicoltura, di soluzioni green, con l'obiettivo primario di contribuire al dimezzamento delle emissioni di carbonio entro il 2030 e pervenire alla neutralità carbonica entro il 2050 (IPCC, 2019). Tale impostazione mira a definire e catalogare soluzioni e strategie ad oggi disponibili volte alla riduzione delle emissioni di carbonio nei distretti urbani, responsabili per il 36% del consumo finale di energia e del 39% delle emissioni totali di biossido di carbonio a livello mondiale (IPCC, 2021).

**Metodologia e fasi operative della ricerca** | Il contributo illustra uno dei principali risultati della ricerca il cui obiettivo generale era la realizzazione di un database delle principali specie arboree e arbustive presenti nella Città metropolitana di Roma Capitale, con elevate capacità di mitigazione ambientale e di assorbimento dei gas cli-

malteranti, che potesse essere messo a disposizione a Enti locali e utile per cittadini privati e imprese. Tale strumento metodologico è volto a far conoscere i valori di assorbimento e stoccaggio di CO<sub>2</sub> di ogni singola specie analizzata: nella redazione del database è stato introdotto un 'indice quali-quantitativo tassonomico di stoccaggio', volto a sensibilizzare gli attori del settore all'utilizzo di specie arboree autoctone ad alta capacità di mitigazione ambientale, che risultano quindi più sostenibili in termini di mitigazione ambientale (miglioramento del benessere termometrico dell'area di impianto nonché capacità selettive di filtraggio agli inquinanti atmosferici urbani).

La strutturazione dell'indice è stata effettuata, primariamente, sulla base di una revisione della letteratura tratta dalle sitografie di 'ActaPlantarum' e di 'Dryades', a partire rispettivamente dal 2007 e dal 2021 (Pignatti, La Rosa and Guarino, 2017; Città metropolitana di Roma Capitale, 2021) volta a conoscere le specie arboree e arbustive presenti nell'area metropolitana e a quantificarne il grado di assorbimento di carbonio. Occorre puntualizzare che da tale analisi sono state escluse le specie erbacee, data la loro ridotta capacità di assorbimento di CO<sub>2</sub> rispetto alle specie arboree e arbustive. Indagini sul campo nella Città metropolitana di Roma Capitale, in aree sia urbane che periurbane, hanno permesso di arricchire l'elenco rispetto a quello estratto dalla letteratura sopracitata. Successivamente, è stato creato un database utilizzando il software Excel Suite Office 2020 ove, per ciascuna specie vegetale, sono riportate le informazioni che seguono:

- 1) Nome scientifico della specie, ovvero binomio lineare (composto da: epiteto generico, epiteto specifico e patronimico, ovvero nome dell'autore che per primo ha scoperto la specie); la nomenclatura è tratta da ActaPlantarum e da Dryades a partire rispettivamente dal 2007 e dal 2021;
- 2) Fotografia della specie (da ActaPlantarum);
- 3) Numero di individui per specie presenti nella Città metropolitana di Roma Capitale (2021);
- 4) Status di esoticità (Galasso et alii, 2018): autoctona quando la presenza della specie è spontanea e non dipende dunque dalla presenza dell'uomo, o alloctona quando la sua presenza è legata, intenzionalmente o accidentalmente, all'azione dell'uomo;
- 5) Per le specie alloctone, l'epoca di introduzione secondo le due categorie attualmente riconosciute: 5a) Archeofite, specie introdotte prima del 1492, ossia prima del colonialismo europeo dopo la scoperta dell'America; 5b) Neofite, specie introdotte dopo il 1492;
- 6) Per le specie alloctone, lo status di naturalizzazione: 6a) Casuali, specie che si sviluppano e riproducono spontaneamente, ma non riescono a formare popolazioni stabili; 6b) Naturalizzate, specie che formano popolamenti stabili indipendenti dall'apporto di nuovi propaguli da parte dell'uomo; 6c) Invasive: un sottogruppo di specie naturalizzate in grado di diffondersi velocemente, a considerevoli distanze dalle fonti di propaguli originarie, e quindi con la potenzialità di diffondersi su vaste aree;
- 7) Corotipo semplificato, secondo una prima classificazione riportata da ActaPlantarum e qui riclassificata al fine di omogeneizzare le macro aree

geografiche di provenienza (Tab. 1);

8) Forma biologica, secondo la classificazione riportata da ActaPlantarum; le categorie sono definite sulla base degli adattamenti per la protezione delle gemme durante la stagione avversa: 'Fanerofite arboree' (P scap), piante legnose con portamento arboreo e gemme poste ad altezze dal suolo superiori ai due metri; 'Nano-Fanerofite' (NP), piante legnose con gemme perennanti poste tra 20 cm e 2 m dal suolo; 'Fanerofite cespugliose' (P caesp), piante legnose con portamento cespuglioso; 'Geofite rizomatoze' (G rhiz), piante perenni dotate di rizoma, un fusto sotterraneo dal quale, ogni anno, si dipartono radici e fusti aerei;

9) Utilizzo, secondo le seguenti tipologie d'uso: artigianale, commestibile, cosmetico, forestale, mellifero, officinale, ornamentale, rimboschimento, schermante;

10) Capacità di assorbimento di CO<sub>2</sub>, secondo le analisi di stoccaggio di CO<sub>2</sub> a 20 anni, in tonnellate, di ogni singola specie arborea/arbustiva (Regione Toscana, 2018).

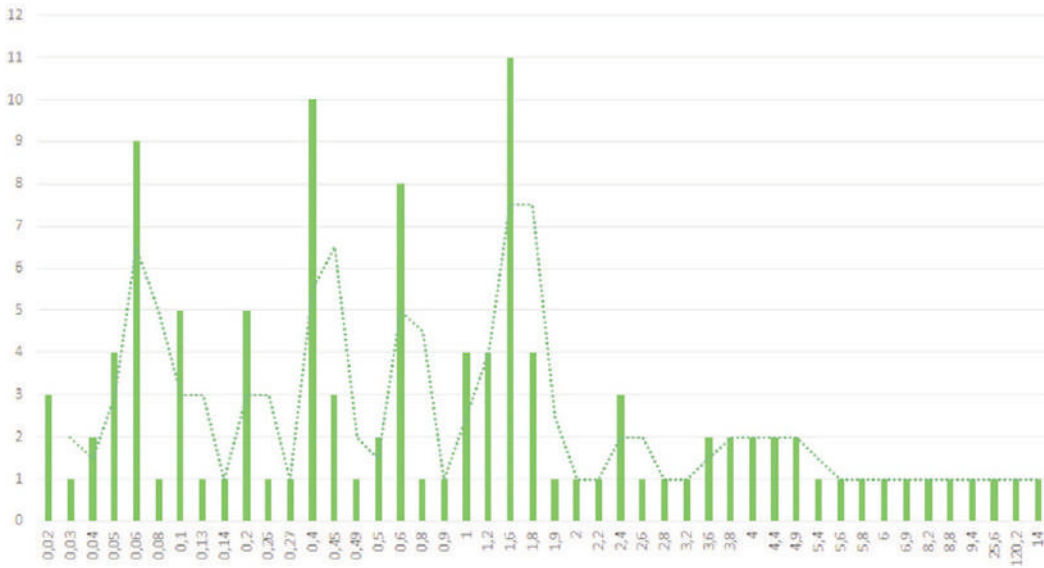
**Elaborazione di un 'indice qualitativo-quantitativo tassonomico di stoccaggio' (TS)** | L'elaborazione di un 'indice quali-quantitativo tassonomico di stoccaggio' (TS), che sia basato sulla capacità di assorbimento di carbonio dall'atmosfera di una specie e sullo status di esoticità, è stato pensato come rapporto matematico, ponendo a numeratore il grado di assorbimento (C) e a denominatore l'esoticità (E):  $TS = C / E$ .

L'Indice assume, mediante rapporto tra capacità di assorbimento di carbonio in atmosfera in relazione allo status di esoticità, valori compresi tra 0 e 1, ove per valori tendenti allo 0 la scelta della specie diviene poco sostenibile, per valori tendenti a 1 la scelta è maggiormente sostenibile<sup>2</sup>. Un secondo indice elaborato è l' 'indice tassonomico di stoccaggio medio' (TSm), quest'ultimo applicabile in una specifica area di studio, ricercato secondo la media di un 'indice tassonomico di stoccaggio' definito per ogni specie censita, utile quindi a confrontare aree e spazi differenti, come, ad esempio, i quartieri di una città; anche suddetto indice assume valori compresi tra 0 e 1. Riguardo la capacità di stoccaggio di CO<sub>2</sub> (C) – fornita in tonnellate, a 20 anni, con unità di misura in ton/anni – è stato realizzato un grafico delle frequenze di distribuzione, con il numero di specie (frequenza) in ordinata e i valori di stoccaggio in ascissa (Fig. 1). La visualizzazione della linea di tendenza polinomiale di grado 2, ha permesso di individuare 4 picchi principali di frequenza, sulla base dei quali è stata proposta una classificazione dei valori di stoccaggio in 4 categorie: Basso (range 0,02-0,129 t/20a); Medio-basso (range 0,130-0,799 t/20a); Medio-alto (range 0,800-2,799 t/20a); Alto (range >2,800 t/20a).

Riguardo l'unità di misura utilizzata per la capacità di stoccaggio (tonnellate), poiché una specie ('Pinus pinea') ha valori relativamente molto elevati rispetto a tutte le altre specie considerate, è stata convertita l'unità (t/20 anni) in Kg/trimestre per una mera necessità matematica di calcolo dell'Indice. La caratterizzazione dell'autoctonia/esoticità (E), considerando altresì i differenti livelli di autoctonia, è stata affrontata proponendo la classificazione delle varie voci illu-

| Actaplantarum chorotype                        | Reclassified chorotype            |
|--|-----------------------------------|
| North America                                  | Alien                             |
| South America                                  | Alien                             |
| Asia   | Alien/Eurasian                    |
| Western Asia                                   | Eurasian                          |
| East Asia                                      | Alien                             |
| Australia                                      | Alien                             |
| Europe   | Mediterranean                     |
| Southern Europe                                | Mediterranean                     |
| Asian European                                 | Eurasian                          |
| Asian European, Euro-Asiann, North Africa      | Eurasian                          |
| European-Caucasian                             | European-Caucasian                |
| Euro-Siberian                                  | Euro-Siberian                     |
| Macaronesia                                    | Mediterranean                     |
| Mediterranean                                  | Mediterranean                     |
| Naturalized                                    | Eurasian/Alien/European-Caucasian |
| Countries in the tropical belt Africa and Asia | Alien                             |

**Tab. 1** | On the right of the table the Chorotype according to the classification reported by Actaplantarum, on the left the Chorotype reclassified (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).



**Fig. 1** | Graph of 20-year CO<sub>2</sub> storage distribution frequencies, in tons, of surveyed species (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).

|       |   |
|-------|---|
| 1     | Spontaneous in the territory of the Municipality of Rome          |
| 1.125 | Not spontaneous in the Municipality of Rome (but native to Lazio) |
| 1.25  | Casual  |
| 1.375 | Naturalize  |
| 1.5   | Invasive  |

**Tab. 2** | Classification, through determined values, of autochthonous and spontaneous, non-spontaneous but autochthonous Latium, causal, naturalized and invasive species surveyed (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).

strata in Tabella 2. Relativamente alla scelta dei valori è stato dato 1 (come valore di base della classificazione) a tutte le specie autoctone e spontanee nel territorio della Città metropolitana di Roma Capitale; assegnando tale valore, si è voluto sottolineare una scelta corretta e sostenibile in termini ambientali. Riguardo alle altre tipologie esotiche, considerando che esse sono via via meno sostenibili nella scala proposta, e riferendoci alla struttura dell'indice come rapporto, sono stati assegnati valori via via crescenti in modo tale che per un maggior livello di esoticità, si avesse un minor valore dell'Indice, a indicare, conseguentemente, una scelta meno appropriata in termini di sostenibilità ambientale.

La scelta di utilizzare valori di 0,125 come passaggio da un tipo esotico a un altro (effettuata dopo numerose prove matematiche) fornisce risultati finali facilmente leggibili ed elaborabili. Nella definizione dell'Indice, il grado di assorbimento di ogni specie analizzata (C) è stato posto in rapporto con la specie a più alta capacità di stoccaggio di carbonio censita ('Pinus pinea'):  $C = \text{CKg/trimestre ('Pinus pinea')} / \text{CKg/trimestre (specie analizzata)}$ . Successivamente tale valore C è stato posto al numeratore per la determinazione dell' 'indice quali-quantitativo tassonomico di stoccaggio' (TS).

**Restituzione grafica e risultati del censimento arboreo ed arbustivo secondo il database costituito**

Completivamente sono state censite 112 specie, con una predominanza di specie arbustive, forma biologica prevalente di fanerofite scapose e status esotico alloctono. Queste ultime per il 75% (46 specie) sono costituite da Neofite e da Archeofite (25%, 15 specie), relativamente allo status complessivo tali specie sono composte in percentuali omogenee principalmente da Archeofite naturalizzate (12%, 12 specie), Neofite invasive (9%, 10 specie), Neofite naturalizzate (12%, 14 specie) e Neofite casuali (20%, 22 specie) (Fig. 2). L'analisi del corotipo semplificato (cosiddetto Spettro Corologico semplificato; Fig. 3) ha evidenziato una percentuale confrontabile per le Aliene pari al 28% (31 specie), le Euroasiatiche pari al 28% (31 specie), le Mediterranee pari al 23% (26 specie) e le Europeo-Caucasiche pari al 20% (23 specie), mentre appena l'1% è rappresentato dalle Euro-Siberiane (1 specie). Le specie Aliene (Fig. 4) sono in prevalenza di origine nord Americana con il 52% (16 specie) e, in minor misura, asiatica confermando la forte presenza di specie invasive e non native del luogo oggetto di censimento. L'analisi degli Utilizzi delle specie arboree e arbustive (Fig. 5) ha evidenziato, un utilizzo prevalente di tipo Ornamentale (25%), Officinale (21%), Forestale (20%) e Rimboschimento (11%), presentando una media di 2,7 utilizzi, segno di come molte delle stesse vengano utilizzate per molteplici scopi e funzioni.

La visualizzazione del grafico delle frequenze (Fig. 6) ha permesso di identificare, attraverso una curva esponenziale, il trend qualitativo delle specie censite. Nello specifico il valore di indice più alto è pari a 0,727, riconducibile alla specie 'Pinus pinea', specie Archeofita naturalizzata, non spontanea nella Città metropolitana di Roma Capitale, ma con elevata capacità di stoccaggio di carbonio (pari a 320 Kg/trimestre).

Complessivamente il grafico mostra un patrimonio arboreo e arbustivo presente poco sostenibile in termini ambientali e un indice estremamente basso (57 specie arboree e arbustive censite con un indice inferiore a 0,021). Tale risultato è strettamente legato alla capacità di stoccaggio e al loro grado di esoticità. Il TSm delle specie analizzate e censite risulta essere pari a 0,103.

**La sperimentazione sul caso del PdZ di San Basilio a Roma**

Il quartiere di edilizia residenziale pubblica di S. Basilio (progettista M. Fiorentino, 1951-1955) si trova nel municipio IV del Comune di Roma Capitale, al cui interno troviamo 4.680 alloggi ERP (Fig. 7) per una superficie complessiva di 135.574 mq di cui 53.473 mq classificati come spazi aperti. Tali alloggi sono gestiti per il 70% da ATER – Azienda Territoriale per l’Edilizia Residenziale pubblica (ex IACP – Istituto Autonomo Case Popolari) e per il 30% dal Comune, localizzandosi precisamente nell’ex PdZ 02V – San Basilio. Negli ultimi anni l’indice di affollamento si è drasticamente ridotto: i giovani nuclei familiari del quartiere stesso cercano altrove le abitazioni a causa di un forte deficit di servizi primari, nonché di un complessivo degrado degli spazi aperti, condizioni che hanno generato, nel tempo, una riduzione del valore immobiliare degli alloggi, favorendo spesso l’instaurarsi di condizioni di micro-criminalità organizzata.

Lo studio e l’analisi degli aspetti ‘green’ del PdZ (Fig. 8), a seguito di sopralluoghi in loco avvenuti in più giorni per conoscere, analizzare e censire le specie arboree e arbustive che costituiscono l’area oggetto di studio, ha permesso il censimento e la catalogazione di 22 specie arboree e arbustive, con prevalenza di ‘Ailanthus altissima’, ‘Cedrus atlantica’, ‘Robinia pseudoacacia’ ed ‘Eucalyptus camaldulensis’, per un totale di 374 individui a medio e alto fusto con uno stoccaggio complessivo pari a 360.576 KgCO<sub>2eq</sub>/annuo (Tab. 3). Tali masse arboree consentono una zona d’ombra pari al 30% degli spazi aperti, quest’ultimi costituiti principalmente da superfici a prato (con prevalente presenza di specie erbacee quali ‘Poa pratensis’ e ‘Festuca arundinacea’) e terreni con destinazione urbanistica ‘a seminativo’ (Fig. 9).

Le specie censite (Fig. 10) risultano in prevalenza Alloctone (64%, 14 specie) con bassa sostenibilità ambientale, secondo lo Status di esoticità (Fig. 11) principalmente di tipo Indigena (36%, 8 specie), seguite da Neofite invasive (18%, 4 specie), Archeofite naturalizzate (18%, 4 specie), Neofite casuali (14%, 3 specie), Neofite naturalizzate (9%, 2 specie) e da Archeofite casuali (5%, 1 specie). La capacità complessiva di assorbimento di CO<sub>2</sub> dall’atmosfera delle masse arboree presenti e degli spazi verdi a raso è stata stimata in 360.577 KgCO<sub>2eq</sub>/anno. Suddetta capacità di assorbimento (Fig. 12) risulta complessivamente di livello Medio-alto e Alto; la specie con più alto potenziale di assorbimento e stoccaggio di carbonio risulta essere il ‘Pinus pinea’, specie Archeofita naturalizzata e non spontanea nella Città metropolitana di Roma Capitale. Il TS applicato per le specie censite (Fig. 13) presenta una frequenza di distribuzione omogenea con il valore massimo pari a 0,727, un valore minimo pari a 0,002 e un medio pari a 0,163. Il TSm delle specie analizzate e censite risulta essere pari a 0,147, valore superiore

del 43% rispetto alla media riscontrata per il censimento arboreo e arbustivo delle specie presenti nella Città metropolitana di Roma Capitale.

**Le misurazioni in loco di concentrazione di CO<sub>2</sub>**

La conclusione della fase di censimento delle masse arboree e arbustive presenti nell’area di intervento (Fig. 14) introduce le campagne sperimentali di misurazione in loco per la rilevazione delle concentrazioni di carbonio in atmosfera avvenute in due momenti specifici dell’anno 2021: durante il solstizio d’estate, avvenuto il giorno 21 Giugno 2021 alle ore 07:00 con una temperatura rilevata pari a 25 °C, un’umidità relativa pari al 70,1%, una velocità del vento massima registrata pari a 3,2 m/s e una copertura nuvolosa del 30%; durante il solstizio d’inverno avvenuto il giorno 21 Dicembre 2021 alle ore 17:00, con una temperatura rilevata pari a 9 °C, un’umidità relativa pari al 99,1%, una velocità del vento massima registrata pari a 7,2 m/s e una copertura nuvolosa del 55%. Le superiori date sono giustificate al fine di quantificare la massima variazione, in termini di concentrazioni, di carbonio in atmosfera in virtù della presenza, per le specie caducifoglie, di un apparato fogliare in estate in grado di assorbire carbonio e di una sua assenza nel periodo invernale.

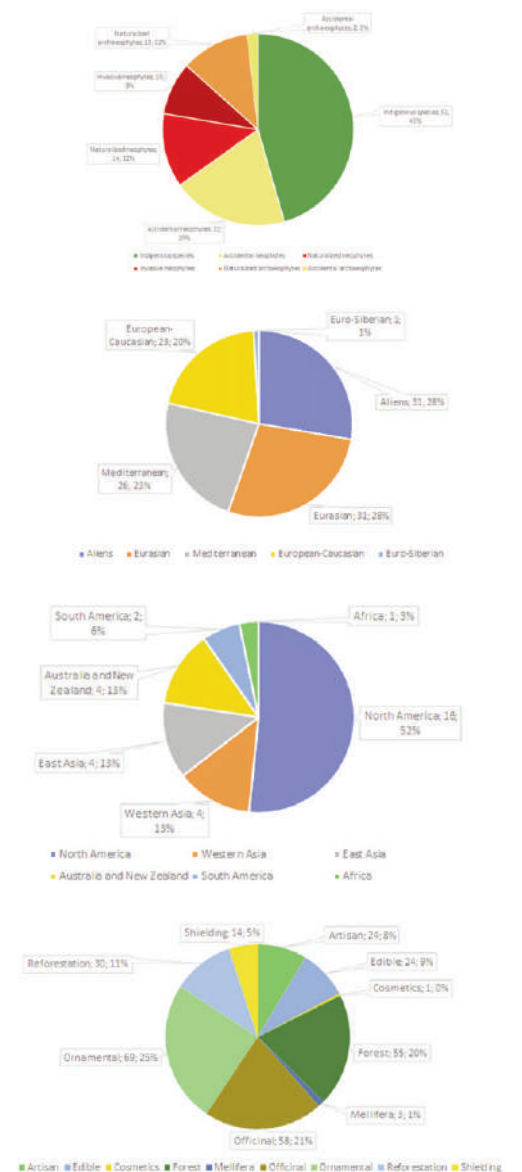
La conformazione dell’area ha permesso la definizione di 20 stazioni di rilevamento censite all’interno della viabilità locale del PdZ di S. Basilio (Fig. 15); tali informazioni sono state inserite in Google Earth, software virtuale collegato in sincrono alla piattaforma cloud Google Drive, ove i valori acquisiti sono stati successivamente esportati, con estensione .kml, in QGIS, applicazione desktop GIS open source, al fine di georeferenziare tali stazioni secondo il Sistema di Riferimento WGS84.<sup>3</sup>

Le concentrazioni rilevate dalle stazioni (in parti per milione, ppm) attraverso strumentazione scientifica (Multi Functional Air Quality Detector, mod. Temtop M2000) sono state successivamente espresse in QGIS secondo due concetti grafici: il primo, puntuale, al fine di comprendere esattamente la localizzazione del campionamento eseguito; il secondo, diffuso, mediante l’elaborazione di una mappa di concentrazione. La rilevazione sperimentale eseguita ha evidenziato nel solstizio d’estate un picco di concentrazione di CO<sub>2</sub> pari a 399,5 ppm, rilevato principalmente all’interno delle corti chiuse degli edifici, ove tale conformazione non permette una corretta ventilazione, e concentrazioni minori negli spazi aperti periferici al PdZ, con un valore minimo rilevato pari a 395,5 ppm (Fig. 16). La misurazione, avvenuta il giorno del solstizio d’inverno, è stata eseguita con gli stessi criteri di quella avvenuta nel solstizio d’estate, rilevando, nello specifico, un picco di concentrazione di CO<sub>2</sub> pari a 401,5 ppm all’interno delle corti chiuse degli edifici e del tessuto edilizio che connette il PdZ al quartiere S. Basilio (Fig. 17); tali concentrazioni risultano superiori a quelle del periodo estivo per la mancanza delle masse vegetazionali caducifoglie e per l’incremento dei consumi energetici dovuti al riscaldamento degli alloggi che costituiscono il PdZ.

**Proposta di intervento di greening volto alla sottrazione di carbonio e all’aumento della qua-**

**lità ambientale** | La proposta di intervento per l’intero PdZ di San Basilio si basa, da una parte su un mirato e progettualmente studiato (e simulato) incremento delle masse vegetazionali già esistenti, autoctone e ad alta capacità di mitigazione ambientale, eliminando specie potenzialmente alloctone e invasive, dall’altra sul recupero, rifunzionalizzazione e valorizzazione degli spazi aperti, con innalzamento della loro complessiva qualità ambientale (Fig. 18).

Lo scenario ipotizzato ha previsto il potenziamento di specie autoctone resilienti, tra le quali il ‘Fagus sylvatica’, ‘Olea europaea’, ‘Pinus pinea’ e l’introduzione di ulteriori 5 specie vegetazionali sostenibili e con elevate capacità di mitigazione ambientale nell’assorbimento e stoccaggio di carbonio dall’atmosfera quali il ‘Pinus halepensis’,



**Fig. 2 | Overall status of tree and shrub species surveyed in the territory of the Municipality of Rome** (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).

**Fig. 3 | Simplified chorological spectrum of surveyed tree and shrub species – Geographical origin of alien species** (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).

**Fig. 4 | Simplified chorological spectrum of surveyed tree and shrub species – Geographical origin of alien species** (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).

**Fig. 5 | Prevalent use of surveyed tree and shrub species** (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).

'Populus tremula', 'Quercus pubescens', 'Quercus suber'<sup>4</sup>. In aggiunta si è prevista la eradicazione di n. 128 individui tra arboree e arbustive infestanti e invasive quali, ad esempio, 'Acacia dealbata', 'Ailanthus altissima', 'Junglas regia', 'Robinia pseudoacacia' nonché di specie arbustive, principalmente 'Pinus pinea', troppo vicine ai manufatti edilizi, che creavano problemi di ventilazione naturale e ombreggiamento nei sopralluoghi avvenuti nei periodi estivi e invernali, anche con evidenti problemi di pericolosità strutturale, rilevata attraverso la tecnica VTA (Visual Tree Assessment).<sup>5</sup>

Sono stati inoltre conservati gli oltre 70 individui arbustivi di 'Laurus nobilis' che definiscono i 200 metri di siepi e bordure stradali presenti nell'area di intervento. Complessivamente sono stati introdotti 587 nuovi individui arborei e arbustivi allocati nelle aree degradate, che in un'ottica 'greening' risultano recuperate e riqualificate con un totale di 32 generi e 961 individui arborei e arbustivi, per un assorbimento complessivo di carbonio pari a 506.816 KgCO<sub>2eq</sub>/anno. Le 32 specie presenti in tale scenario di riqualificazione risultano quasi esclusivamente in prevalenza Autoctona (94%, 30 specie; Fig. 19), con un sensibile aumento della sostenibilità ambientale dimostrato, secondo lo Status di esoticità (Fig. 20), dalla costituzione di specie principalmente di tipo Indigene (91%, 29 specie), seguite da Neofite casuali (3%, 1 specie), Neofite naturalizzate (3%, 1 specie) e Archeofite naturalizzate (3%, 1 specie).

**Discussione dei risultati** | L'adozione delle strategie descritte in precedenza ha definito linee progettuali verificabili attraverso la quantificazione de-

gli effetti che le stesse introducono nell'area oggetto di sperimentazione. Nel dettaglio, tali soluzioni green hanno riguardato l'incremento del patrimonio arboreo e arbustivo attraverso la valorizzazione delle specie sostenibili esistenti e l'introduzione di nuove autoctone, ad alta sostenibilità ambientale e spontanee del territorio metropolitano di Roma Capitale, l'incremento delle aree umide e la valorizzazione degli spazi aperti. La capacità di assorbimento di CO<sub>2</sub> dall'atmosfera esercitato dal patrimonio arboreo dell'area, quale risultante delle operazioni progettate e simulate di introduzione e di eliminazione di determinate specie (Fig. 21), risulta essere complessivamente di livello Alto, migliorando quindi le performance di assorbimento rispetto lo stato di fatto.

Da notare che la specie con più alto potenziale di assorbimento e stoccaggio di carbonio risulta essere il 'Pinus halepensis', entità indigena e spontanea nella Città metropolitana di Roma Capitale e ad alta capacità di mitigazione ambientale, che non a caso è stata tra le specie introdotte nel progetto di riforestazione urbana dell'area. Il TS applicato per le specie presenti in tale scenario (Fig. 22) presenta una frequenza di distribuzione omogenea con il valore massimo pari a 1, un valore minimo pari a 0,008 e un TSm pari a 0,188, incrementando del 28% la capacità ambientale di assorbimento del carbonio in relazione allo status di esoticità, rispetto lo stato di fatto.

Il mix di tali strategie ambientali determina complessivamente un incremento dell'assorbimento di CO<sub>2</sub> pari a +183% (1.068.380 KgCO<sub>2eq</sub>/annuo) rispetto allo Stato di fatto, derivante dal complesso delle azioni progettuali che hanno prodotto un

aumento – non solo di carattere quantitativo ma soprattutto di tipo qualitativo – del 30% (40.121 mq) di spazi verdi, tra i quali si devono considerare anche quelli rappresentati dall'introduzione di 'tetti verdi' e di 'tetti marroni' (1.152 mq), con conseguente recupero di suoli in precedenza degradati. Tale approccio metodologico è tutt'ora in corso anche in un'altra zona di edilizia residenziale pubblica ricadente nel quartiere di San Basilio realizzato negli anni '50, nello specifico tra Via Loreto e Via Casale di San Basilio (Fig. 23), riscontrando, in via preliminare, valori simili alla presente ricerca (Fig. 24).

**Conclusioni e prospettive della ricerca** | La ricerca ha evidenziato importanti strategie nel campo delle soluzioni green volte a incrementare il benessere ambientale in un quartiere periurbano della Città metropolitana di Roma Capitale, proponendo scenari di intervento mirati al fine di incrementare le capacità di stoccaggio di carbonio dall'atmosfera attraverso azioni di riforestazione urbana con specie autoctone e ad alta capacità di mitigazione ambientale.

Le prospettive per la ricerca, basate sulla messa a punto di metodologie di calcolo e verifica secondo la costituzione di solidi e scientificamente affidabili database, calibrati sui caratteri del contesto nazionale e in particolare su quelli di aree costituenti quartieri urbani e periurbani di città, potranno riguardare l'incremento delle specie arboree e arbustive censite, ampliando progressivamente il campo di applicazione sull'intero territorio nazionale (e in teoria, in una prospettiva di crescita, sulla dimensione almeno europea, per non dire mondiale), al fine di fornire alla comunità

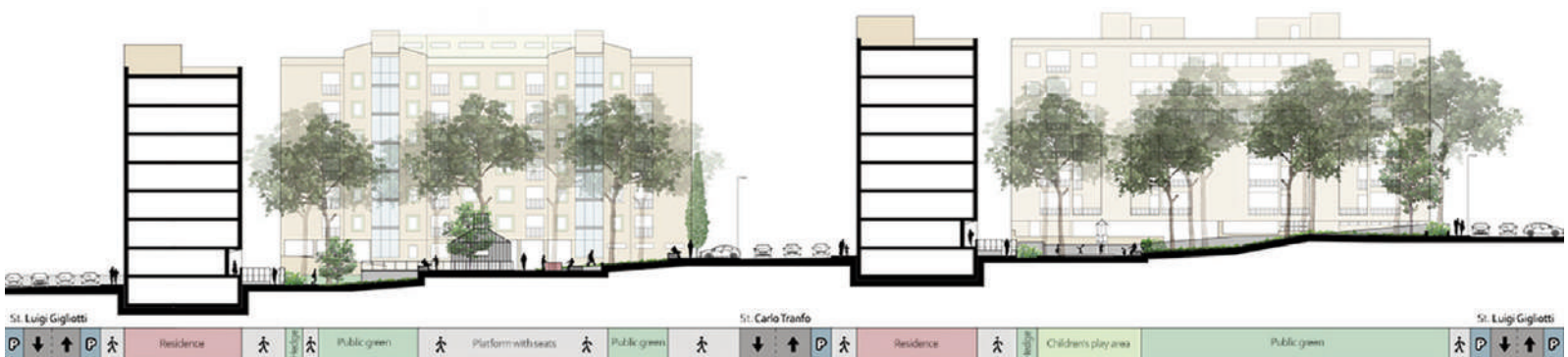
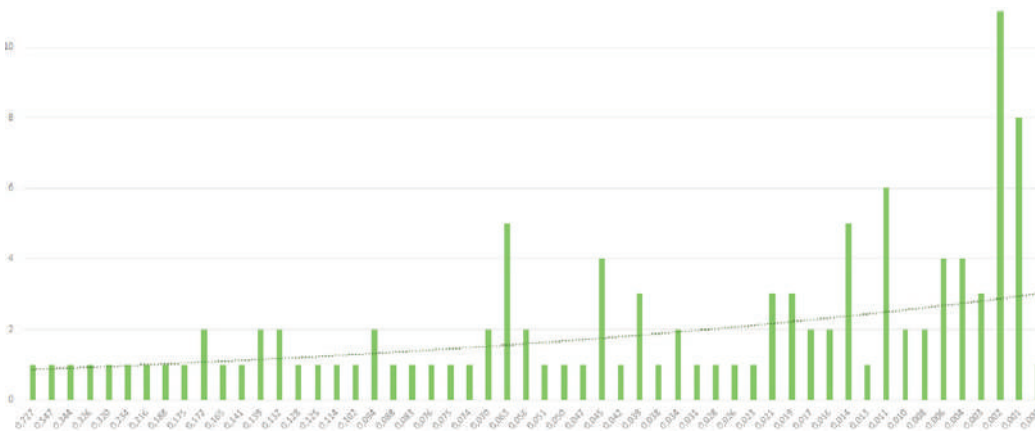


Fig. 6 | Frequency plot of 'taxonomic stocking index' (TS) applied to surveyed species (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).

Fig. 7 | Aerial photo of the PdZ of San Basilio (credit: Cartoteca PDTA, 'Sapienza' Università di Roma, 2014).

Fig. 8 | Section profile of the PdZ of San Basilio between Luigi Gigliotti St. and Carlo Tranfo St. (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).

scientifico e agli attori del processo – quali quelli del settore pubblico e privato auspicabilmente favorevoli all'incremento delle conoscenze verso tali strategie e pratiche, come nel caso del PdZ di San Basilio presentato a titolo esemplificativo in questo contributo – un curato e dettagliato modello di calcolo dell'assorbimento di carbonio realmente conseguibile, volto a favorire, nei processi di riqualificazione di spazi aperti, l'introduzione di individui autoctoni, disincentivando le specie aliene, spesso fortemente invasive (European Commission, 2021).

L'incremento delle specie arboree e arbustive censite e implementate nel database presentato concorrerà inoltre ad affinare e migliorare l'indice tassonomico di stoccaggio (TS) in quanto applicabile in ogni area nazionale e, in prospettiva, europea (finanche del globo) e confrontabile tra più aree, anche distanti tra di loro, attraverso l'impiego dell'indice tassonomico di stoccaggio medio (TSM). Quest'ultimo inoltre potrebbe trovare una potenziale relazione con il numero di essenze arboree e arbustive che compongono un'area di intervento quale può essere un quartiere o un distretto di una città; nel caso proposto, ricadente nella Città metropolitana di Roma Capitale, non è stato possibile eseguire tale applicazione in modo integrale sull'intero territorio metropolitano in quanto non è presente ad oggi un censimento completo e dettagliato delle masse arboree e arbustive presenti, ma solo quello delle essenze arbustive presenti nei parchi e spazi verdi gestiti dalla Amministrazione Comunale, costituendo pertanto un limite alla presente ricerca.

Ulteriori prospettive future di ricerca potranno infine riguardare il confronto tra quartieri e distretti di una medesima città o di città europee e mondiali volto a perfezionare l'indice tassonomico di stoccaggio medio (TSM) indagando sulle potenziali relazioni di quest'ultimo con le certificazioni ambientali e standard energetici spesso presenti in interventi di rigenerazione urbana, come presenti nei distretti ecologici Aspern Seestadt a Vienna e Clichy Batignolles a Parigi, in un'ottica di quantificazioni delle riduzioni di emissioni di carbonio in atmosfera.

In light of the latest European policy proposals adopted in the matter of climate, energy, land use, transport, and responsible resource management in resilient, flexible, adaptive, and sustainable districts, the green transformation of cities and urban and peri-urban areas has become a pressing issue. Climate change, higher impacts by carbon emissions, and the growing European energy crisis – accentuated of late, with the geopolitical crisis in progress, by the increased costs for obtaining and procuring the natural gas upon which member states depend for more than 42% of their needs (EEA, 2021) – have necessitated urgent policies and actions to make the cities' inhabitants more resilient and responsible towards the impacts derived from sudden economic, social, and environmental change.

Although mitigation measures (and also adaptation measures, especially if integrated with them) to keep the global temperature rise to below 1.5 °C might prevent some of the most devastating impacts of the climate change in progress, we

| Species                         | Number registered |
|---------------------------------|-------------------|
| <i>Acacia dealbata</i>          | 4                 |
| <i>Acer platanoides</i>         | 10                |
| <i>Acer saccharinum</i>         | 21                |
| <i>Ailanthus altissima</i>      | 31                |
| <i>Cedrus atlantica</i>         | 9                 |
| <i>Citrus limon</i>             | 2                 |
| <i>Cupressus sempervirens</i>   | 17                |
| <i>Eucalyptus camaldulensis</i> | 12                |
| <i>Fagus sylvatica</i>          | 41                |
| <i>Juglans regia</i>            | 11                |
| <i>Laurus nobilis</i>           | 70                |
| <i>Liriodendron tulipifera</i>  | 6                 |
| <i>Magnolia grandiflora</i>     | 4                 |
| <i>Malus domestica</i>          | 3                 |
| <i>Olea europaea</i>            | 6                 |
| <i>Pinus nigra</i>              | 4                 |
| <i>Pinus pinea</i>              | 30                |
| <i>Platanus hispanica</i>       | 6                 |
| <i>Prunus avium</i>             | 5                 |
| <i>Quercus ilex</i>             | 10                |
| <i>Robinia pseudoacacia</i>     | 34                |
| <i>Tilia cordata</i>            | 38                |
| Total                           | 374               |

**Tab. 3** | Classification and numerical quantification of tree and shrub species in the PdZ of San Basilio (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).

know all too well that their implementation is clearly lagging behind the timetable set out in 2015, and that if mean temperatures were to rise by 1.7-1.8 °C, ecosystems deemed vulnerable today would see their likelihood of extinction double – a likelihood that would increase tenfold with a +3 °C rise (IPCC, 2022). The concern is growing, as is the urgency of a serious decarbonization operation, especially in cities.

Among the urban regeneration measures aimed at decarbonizing districts, we may include the practices of afforestation and reforestation, as well as environmental technology solutions – and especially nature-based solutions – capable of providing responses to climate change and improved quality of life, which are issues increasingly connected to urban growth (Tucci, 2018). The strategy of incentivizing actions and solutions for green infrastructures fits into a broader scientific discussion on developing methods and tools of integrated dissemination aimed at the sustainability of urban transformations, with a view to deep renovation (Andreucci, 2017). The paper's originality may be seen in its development of an overview of use for operators in the sectors of urban reforestation, silviculture, and green solutions, with the main goal of contributing towards halving carbon emissions by 2030 and achieving carbon neutrality by 2050 (IPCC, 2019). This arrangement aims at defining and cataloguing currently available so-

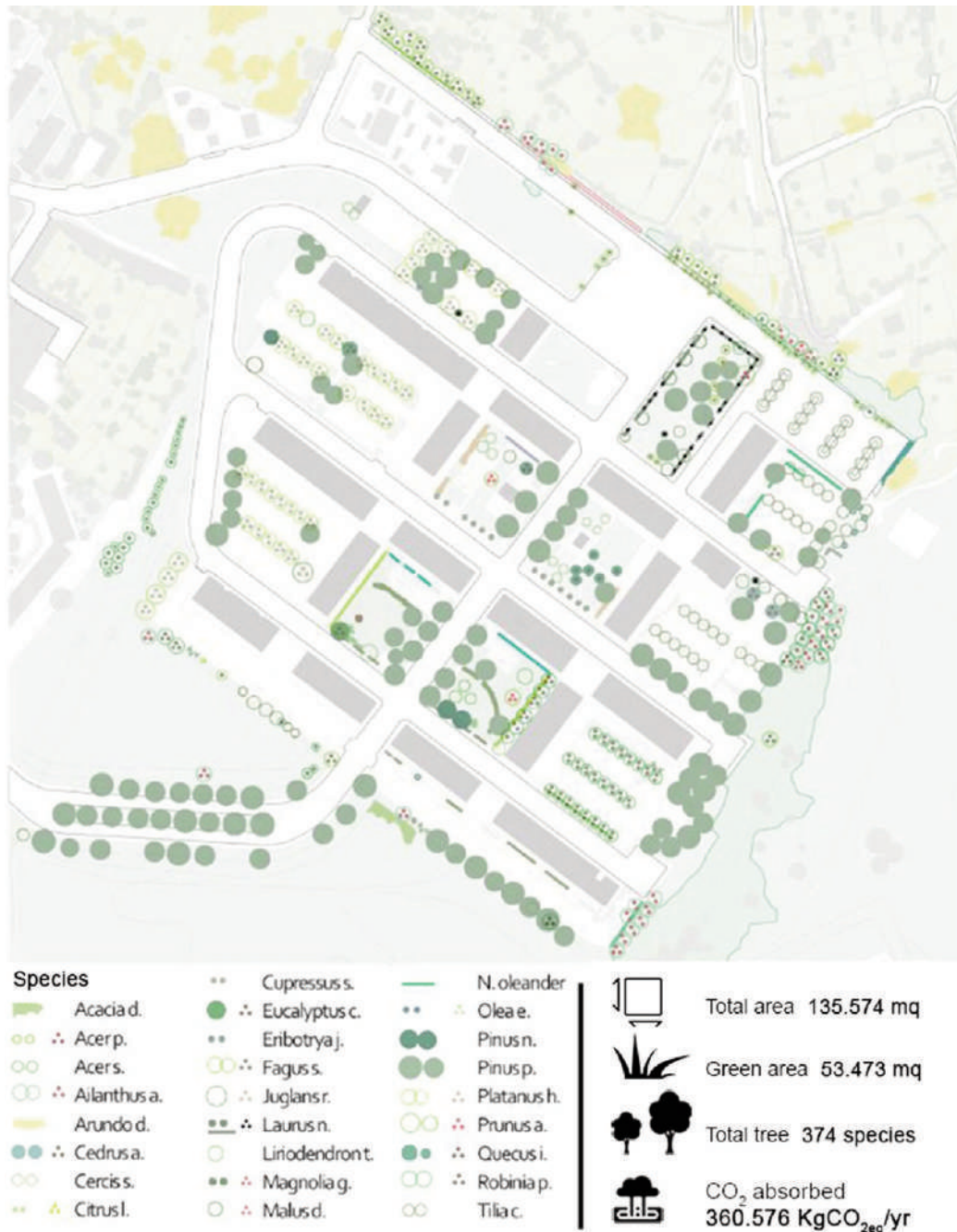
lutions and strategies for reducing carbon emissions in urban districts, which are responsible for 36% of final energy consumption and 39% of total carbon dioxide emissions worldwide (IPCC, 2021).

#### Research methodology and operative phases

This paper illustrates one of the main results of the research, whose general goal was to build a database of the main tree and shrub species present in the metropolitan City of Rome that have high capacities for environmental mitigation and absorbing greenhouse gases. This methodological tool, which might be made available to local authorities while also being of use for private citizens and enterprises, is aimed at communicating the levels of carbon dioxide absorption and storage of each analysed species. In drawing up the database, a 'qualitative/quantitative taxonomic storage index' was introduced, aimed at raising awareness among operators in the sector as to the use of native tree species with a high capacity for environmental mitigation which are, therefore, more sustainable from that perspective (improving the hygrothermal well-being of the land area as well as the selective capacities of filtering urban air pollutants).

The index was structured primarily based on a review of the literature taken from the ActaPlantarum and Dryades lists of websites, starting from 2007 and 2021 respectively (Pignatti, La Rosa and

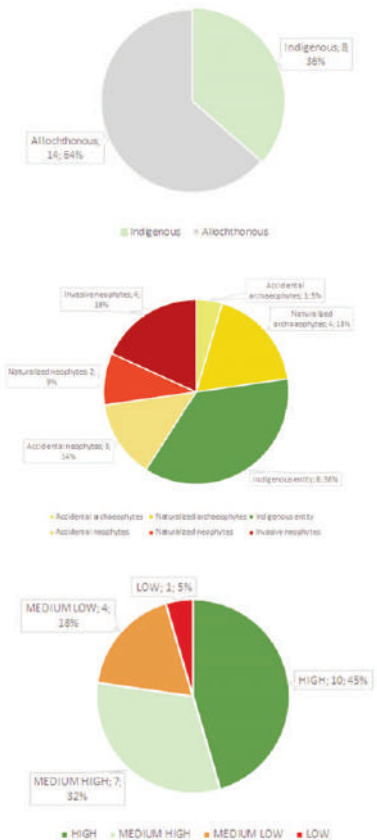




Guarino, 2017; Città metropolitana di Roma Capitale, 2021). This review was aimed at finding out the tree and shrub species present in the metropolitan area and quantifying their degree of carbon absorption. It bears specifying that this analysis excluded grass species, given their lower CO<sub>2</sub> absorption capacity than that of tree and shrub species. Investigations in the field in the metropolitan City of Rome, in both urban and peri-urban areas, have yielded a list richer than that in the above-cited literature. Subsequently, a database was created using Excel Suite Office 2020 software, in which, for each plant species, the following information is reported:

1) Scientific name of the species, which is to say the Linnean binomial (composed of generic name, specific epithet and patronym – the name of the person who first discovered the species); the nomenclature was drawn from ActaPlantarum and Dryades starting in 2007 and 2021 respectively; 2) Photograph of the species (from ActaPlantarum);

3) Number of individuals per species present in the Città metropolitana di Roma Capitale (2021); 4) Exoticity status (Galasso et alii, 2018): autochthonous when the species' presence is spontaneous and therefore does not depend on man's presence, or allochthonous when its presence is linked, by design or by chance, to human action; 5) For the allochthonous species, the time of introduction according to two currently recognized categories: 5a) archeophytes, species before 1492, which is to say before European colonialism after the discovery of America; 5b) neophytes, species introduced after 1492; 6) For the allochthonous species, the naturalization status: 6a) Accidental: species that develop and reproduce spontaneously, but cannot form stable populations; 6b) Naturalized, species that form stable populations regardless of the contribution of new propagules by people; 6c) Invasive, a subgroup of naturalized species able to spread quickly, at considerable distances from the sources of original propagules, and there-



**Fig. 9** | Vegetation census of the PdZ of San Basilio in the Autumn-Winter period with quantification of the main environmental parameters (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).

**Fig. 10** | Exotic status of tree and shrub species surveyed in the PdZ of San Basilio (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).

**Fig. 11** | Overall status of tree and shrub species surveyed in the PdZ of San Basilio (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).

**Fig. 12** | Carbon uptake capacity of tree and shrub species surveyed in the PdZ of San Basilio (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).

fore with the potential to spread over large areas; 7) Simplified chorotype, according to an initial classification reported by ActaPlantarum and reclassified here to homogenize the geographic macro-areas of origin (Table 1); 8) Biological form, according to the classification reported by ActaPlantarum; the categories are defined based on adaptations to protect the buds during the unfavourable season: 'Arboreal phanerophytes' (P scap), woody plants with a treelike habit and buds placed at more than two metres from the ground; 'Nano- Phanerophytes' (NP), woody plants with perennial buds place between 20 cm and 2 m from the ground; 'Shrub phanerophytes' (P caesp), woody plants with shrub habit; 'Rhizome geophytes' (G rhiz), perennial plants with rhizome, an underground stalk from which roots and above-ground stalks depart every year; 9) Use, in accordance with the following use types: artisanal, comestible, cosmetic, forest, melliferous, officinal, ornamental, afforestation, shielding;

10) carbon dioxide, absorption capacity, according to the analyses of CO<sub>2</sub> storage at 20 years, in tons, of each tree/shrub species (Regione Toscana, 2018).

**Development of a 'qualitative/quantitative taxonomic storage index' (TS)** | The development of a 'qualitative/quantitative taxonomic storage index' (TS) based on a species' capacity to absorb carbon from the atmosphere and on exoticity status, was conceived as a mathematical ratio, with the degree of absorption (C) being the numerator, and exoticity (E) the denominator:  $TS = C / E$ .

With the ratio between the capacity to absorb carbon in the atmosphere and exoticity status, the Index takes on values of between 0 and 1, in which, for values tending towards 0, the choice of species becomes less sustainable, with the choice becoming more sustainable<sup>2</sup> for values tending towards 1. A second index that was developed is the 'mean taxonomic storage index' (T<sub>Sm</sub>), applicable to a specific area of study and researched by the mean of a 'taxonomic storage index' defined for each inventoried species, and therefore of use for comparing different areas and spaces – such as a city's neighbourhoods; this index also takes on values of between 0 and 1. As to CO<sub>2</sub> storage capacity (C) – provided in tons, at 20 years, with the unit of measurement in tons/years – the destruction frequencies were graphed, with the number of species (frequency) being the y-axis and the storage values the x-axis (Fig. 1). The visualization of the 2nd-order polynomial trendline allowed 4 main frequency peaks to be identified. Based on them, a 4-category classification of storage values was proposed: Low (range 0.02-0.129 t/20a); Medium-low (range 0.130-0.799 t/20a); Medium-high (range 0.800-2.799 t/20a); and High (range >2.800 t/20a).

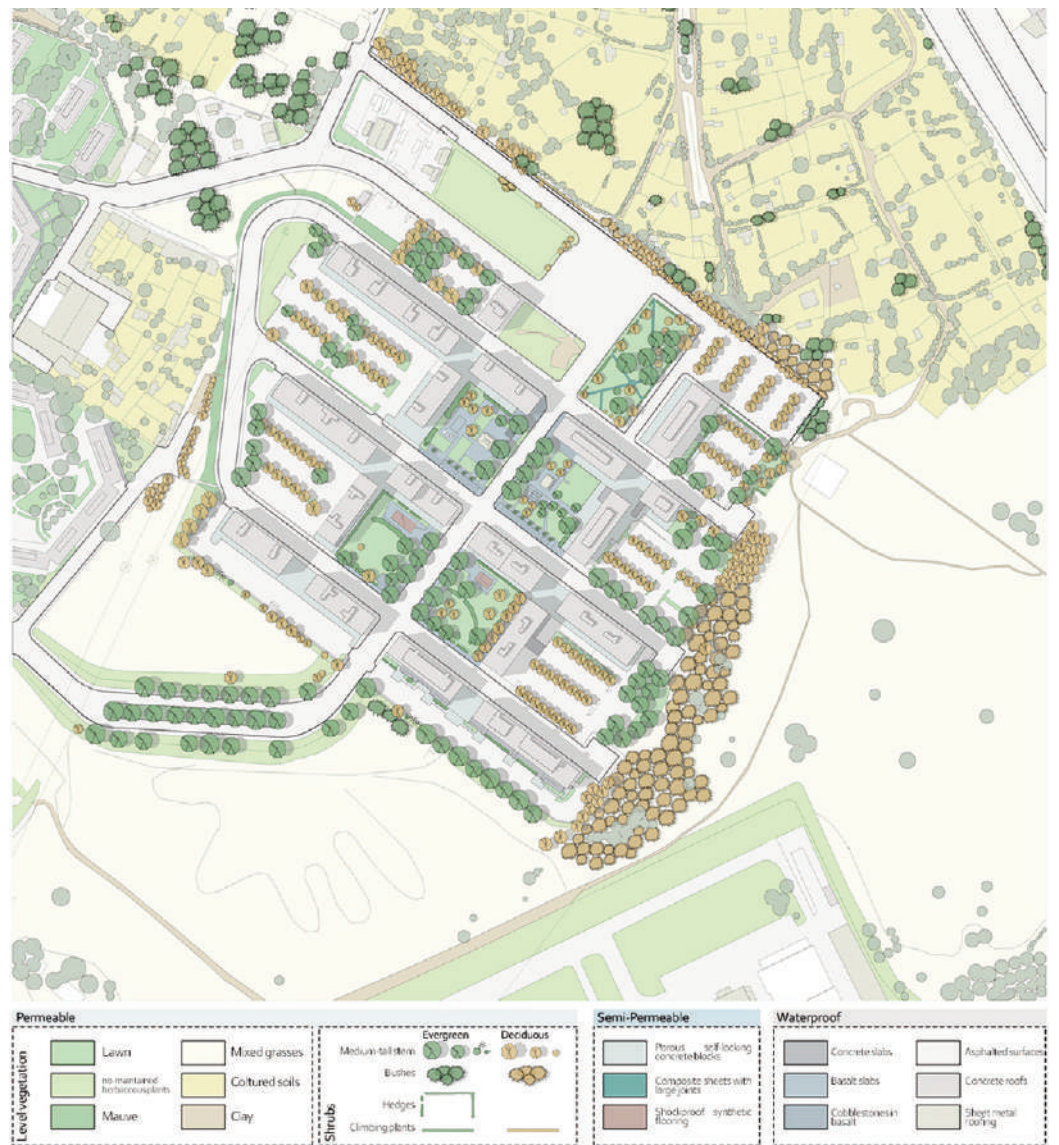
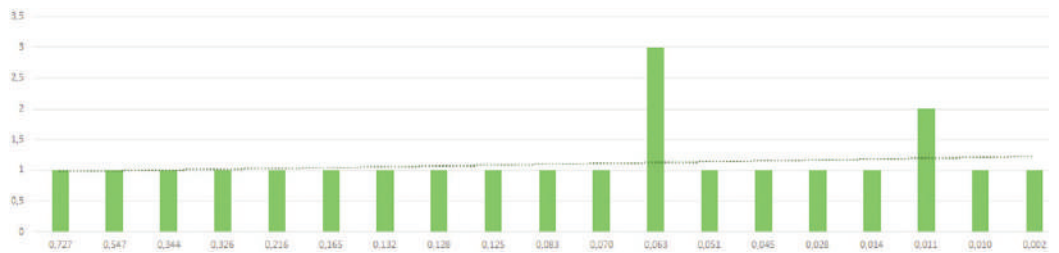
As to the unit of measurement used for storage capacity (tons), since one species ('Pinus pinea') has, in relative terms, very high values in comparison with all the other considered species, the unit (t/20 years) was converted into Kg/quarter out of the mere mathematical necessity of the index's calculation. Autochthony/exoticity (E) was characterized, also considering the different levels of autochthony, by proposing the classification of the various items, as illustrated in Table 2. As to the choice of values, 1 (as the classification's base value) was assigned to all autochthonous and spontaneous species in the territory of the metropolitan City of Rome; this value was assigned to emphasize a correct and sustainable choice in environmental terms. As to the other exotic types, considering that they grow less and less sustainable in the proposed scale, and referring to the index's structure as a ratio, increasing values are assigned in such a way that a greater level of exoticity yields a lower Index value, consequently pointing to a less appropriate choice in terms of environmental sustainability.

The choice of using values of 0.125 as a passage from one exotic type to another (done after numerous mathematical proofs) yields final results that can be read and processed. In defining the Index, each analysed species' degree of absorption (C) is placed in relation to the species with the highest recorded carbon storage capacity ('Pinus pinea'):  $C = CKg/quarter ('Pinus pinea') /$

$CKg/quarter$  (analyzed species). This value C was then made the numerator for determining the 'qualitative/quantitative taxonomic storage index' (TS).

**Graphic rendering and results of the tree and shrub inventory according to the established database** | Overall, 112 species were surveyed, with a predominance of shrub species, a prevalent biological form of scapose phanerophytes, and an allochthonous exotic status. Of these, 75% (46 species) consist of neophytes and archeophytes (25%, 15 species). As for overall status, these species are composed, in uniform percentages, mainly of naturalized archeophytes (12%, 13 species), invasive neophytes (9%, 10 species),

naturalized neophytes (12%, 14 species), and accidental neophytes (20%, 22 species) (Fig. 2). The analysis of the simplified chorotype (the so-called simplified Chorological Spectrum; Fig. 3) showed a comparable percentage for alien species equal to 28% (31 species), Eurasian species equal to 28% (31 species), Mediterranean species equal to 23% (26 species) and Euro-Caucasian species equal to 20% (23 species), while Euro-Siberian species account for barely 1% (1 species). The alien species (Fig. 4) are prevalently North American in origin, with 52% (16 species) and, to a lesser degree, Asiatic, thereby confirming the strong presence of invasive and non-native species in the surveyed location. Analysis of the uses of the



**Fig. 13** | Distribution frequency graph of the 'taxonomic stocking index' (TS) of the tree and shrub species surveyed in the PdZ of San Basilio. (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).

**Fig. 14** | Analysis of tree masses and soil permeability in the PdZ of San Basilio (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).

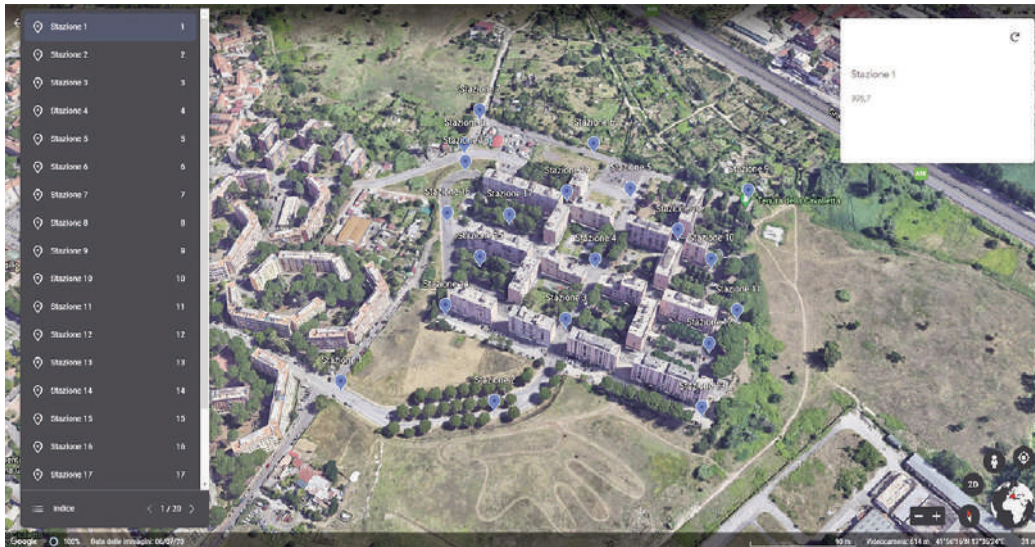


Fig. 15 | Insertion of surveyed environmental data in Google Earth connected to the Google Drive cloud platform (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).

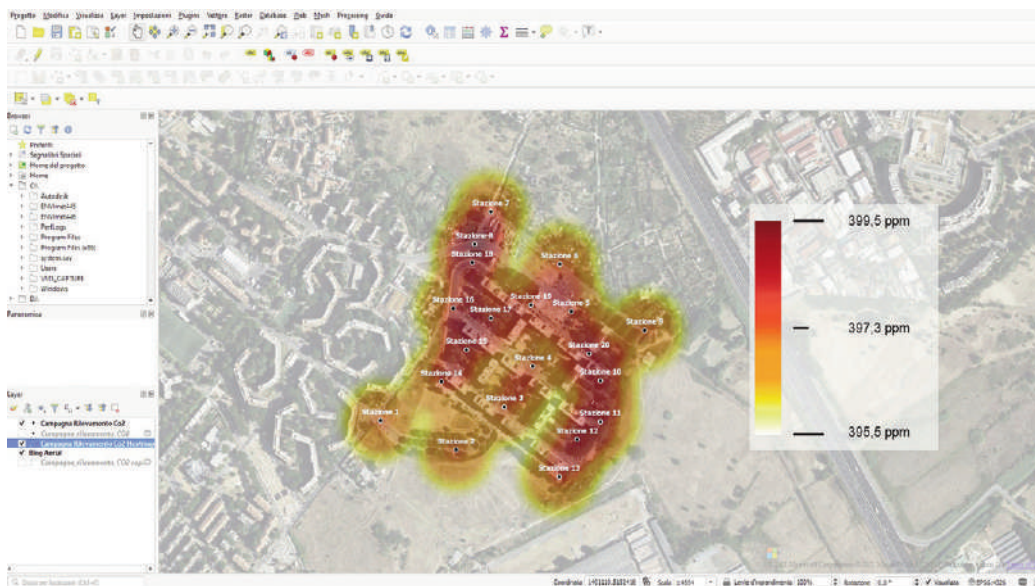


Fig. 16 | Heatmap of the surveys performed on June 21, 2021 (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).

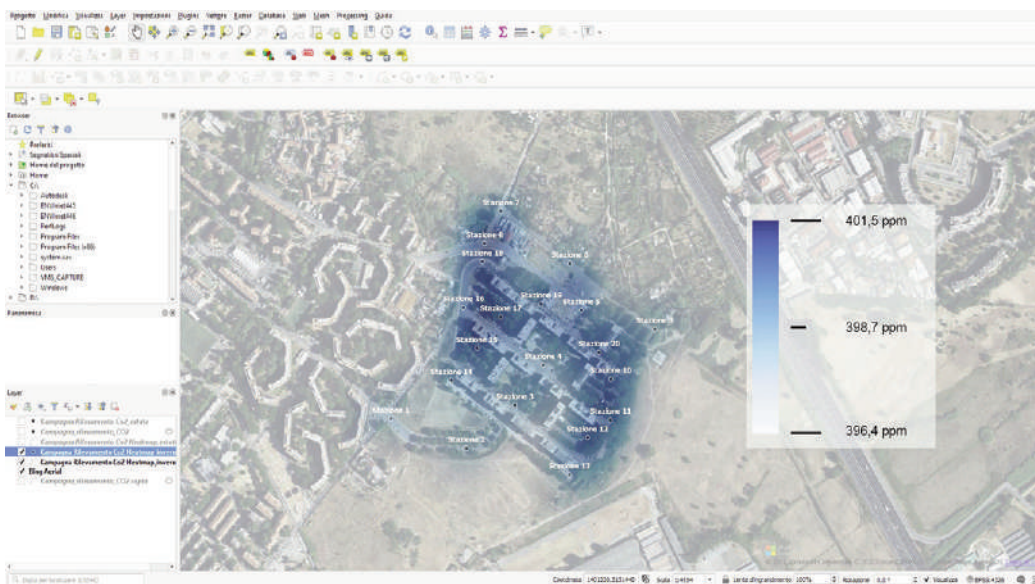


Fig. 17 | Heatmap of the surveys performed on December 21, 2021 (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).

tree and shrub species (Fig. 5) prevalently showed the Ornamental (25%), Official (21%), Forest (20%), and Reforestation (11%) types, presenting an average of 2.7 uses, which shows how many of them are used for multiple purposes and functions.

The visualization of the frequencies graph (Fig. 6) allowed an exponential curve to be used to identify the qualitative trend of the surveyed species. In specific terms, the highest index value equals 0.727, for 'Pinus pinea', a naturalized archeophyte species in the metropolitan City of Rome, non-spontaneous but with a high carbon storage capacity (equal to 320 Kg/quarter). Overall, the graph shows a stock of trees and shrubs that is not very environmentally sustainable, and an extremely low index (57 tree and shrub species surveyed with an index under 0.021). This result is closely linked to their storage capacity and degree of exoticity. The TSm of the analysed and surveyed species equals 0.103.

**Experimentation on the case of the San Basilio zone plan a Roma** | The public housing neighbourhood of San Basilio (designed by M. Fiorentino, 1951-1955) is located in district IV of the municipality of Rome, and is home to 4,680 public housing units (Fig. 7); it covers a total area of 135,574 sqm, of which 53.473 sqm are classified as open spaces. Seventy percent of these units are managed by the local public housing agency (ATER – Azienda Territoriale per l'Edilizia Residenziale pubblica, formerly IACP – Istituto Autonomo Case Popolari), and 30% by the Municipality, and in specific terms are located in former zone plan 02V – San Basilio. In recent years, the crowding index has declined drastically: the neighbourhood's young families are seeking homes elsewhere due to a severe dearth of primary services, as well as the overall decay of the open spaces – conditions that, over time, have lowered real estate values while often fostering situations of low-level organized crime.

By studying and analysing the zone plan's green aspects (Fig. 8) after onsite inspections taking place over several days to learn, analyse, and survey the tree and shrub species constituting the area being studied, 22 tree and shrub species were inventoried and catalogued, with a prevalence of 'Ailanthus altissima', 'Cedrus atlantica', 'Robinia pseudoacacia', and 'Eucalyptus camaldulensis', totalling 374 average-height and tall individuals with total storage equalling 360,576 KgCO<sub>2eq</sub>/year (Table 3). These arboreal masses yield a shaded area equal to 30% of the open spaces, which are constituted mainly of lawn surfaces (with a prevalence of such grass species as 'Poa pratensis' and 'Festuca arundinacea') and land zoned for 'sowing' (Fig. 9).

The surveyed species (Fig. 10) are prevalently Allochthonous (64%, 14 species) with low environmental sustainability according to the exoticity status (Fig. 11) mainly of the Indigenous type (36%, 8 species), followed by invasive neophytes (18%, 4 species), naturalized archeophytes (18%, 4 species), accidental neophytes (14%, 3 species), naturalized neophytes (9%, 2 species), and accidental archeophytes (5%, 1 species). The overall capacity for absorbing CO<sub>2</sub> from the atmosphere of the current tree masses and the level of green spaces was estimated at 360,577 KgCO<sub>2eq</sub>/year. This absorption capacity (Fig. 12)

is on the whole of Medium-high and High levels; the species with the highest potential carbon absorption and storage potential is 'Pinus pinea', a non-spontaneous naturalized archeophyte species in the metropolitan City of Rome. The TS applied for the surveyed species (Fig. 13) presents a uniform distribution frequency, with a maximum value equal to 0.727, a minimum value of 0.002, and a mean value of 0.163. The TSm of the analysed and surveyed species equals 0.147, a value 43% higher than the average found for the tree and shrub inventory of the species present in the metropolitan City of Rome.

**Onsite measurements of CO<sub>2</sub> concentration**

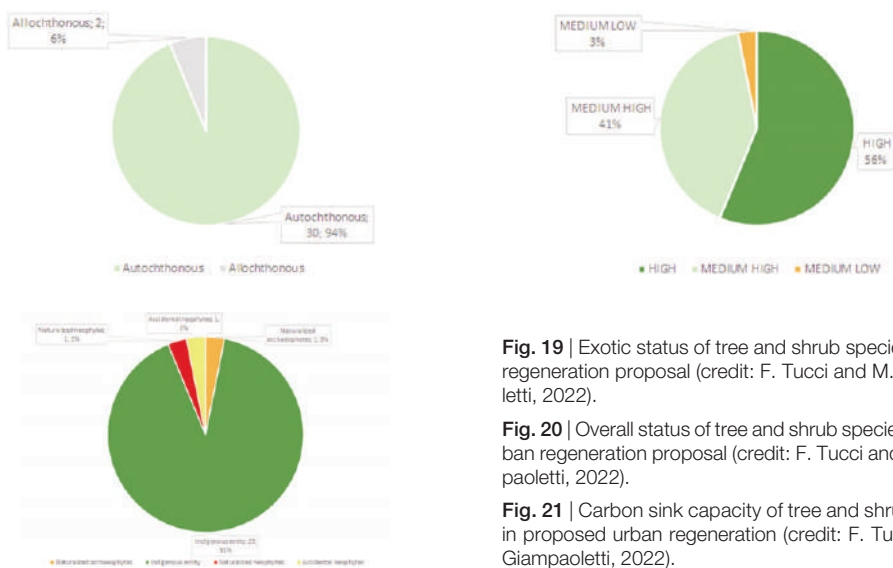
| The conclusion of the phase of surveying the tree and shrub masses in the intervention area (Fig. 14) introduces onsite experimental measurement campaigns to measure the concentrations of carbon in the atmosphere at two specific moments in 2021: during the summer solstice on 21 June 2021, at 07:00 AM, with a measured temperature of 25 °C, relative humidity equal to 70.1%, a maximum recorded windspeed equal to 3.2 m/s, and 30% cloud cover; and during the winter solstice on 21 December 2021, at 5:00 PM, with a measured temperature of 9 °C, relative humidity equal to 99.1%, a maximum recorded wind-speed equal to 7.2 m/s, and cloud cover 55%. The above dates are justified in order to quantify the maximum variation – in terms of concentrations – of carbon in the atmosphere by the presence, for deciduous species, of summer foliage capable of absorbing carbon, and its absence in the winter period.

The area's conformation allowed 20 measurement stations to be defined, surveyed within the local roads of the San Basilio zone plan (Fig. 15); this information was entered into Google Earth, a virtual software synced with the Google Drive cloud platform, where the acquired values were subsequently exported, with the extension .kml, to QGIS, a desktop GIS open-source application, in order to georeference these stations in accordance with the WGS84 Reference System.<sup>3</sup>

The concentrations measured by the stations (in parts per million, ppm) using scientific instruments (Multi-Functional Air Quality Detector, mod. Temtop M2000) were then expressed in QGIS by two graphic concepts: the first in precise points to comprehend exactly the location of the sampling that was performed; the second one diffuse, through the development of a concentration map. The experimental survey showed, in the summer solstice, a peak CO<sub>2</sub> concentration equal to 399.5 ppm, measured mainly inside the buildings' enclosed courtyards (an arrangement that does not permit proper ventilation), and lower concentrations in the open spaces that are peripheral to the zone plan, with a minimum measured value of 395.5 ppm (Fig. 16). The measurement on the day of the winter solstice was carried out with the same criteria as that done on the summer solstice, specifically finding peak CO<sub>2</sub> concentration equal to 401.5 ppm inside the buildings' enclosed courtyards and the building fabric connecting the zone plan to the San Basilio neighbourhood (Fig. 17); these concentrations are higher than those during the summer due to the lack of masses of deciduous vegetation and to the increased energy consumption caused by the heat-



**Fig. 18** | Proposal for greening intervention in the PdZ of San Basilio (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).



**Fig. 19** | Exotic status of tree and shrub species in urban regeneration proposal (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).

**Fig. 20** | Overall status of tree and shrub species in the urban regeneration proposal (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).

**Fig. 21** | Carbon sink capacity of tree and shrub species in proposed urban regeneration (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).

ing of the housing units constituting the zone plan.

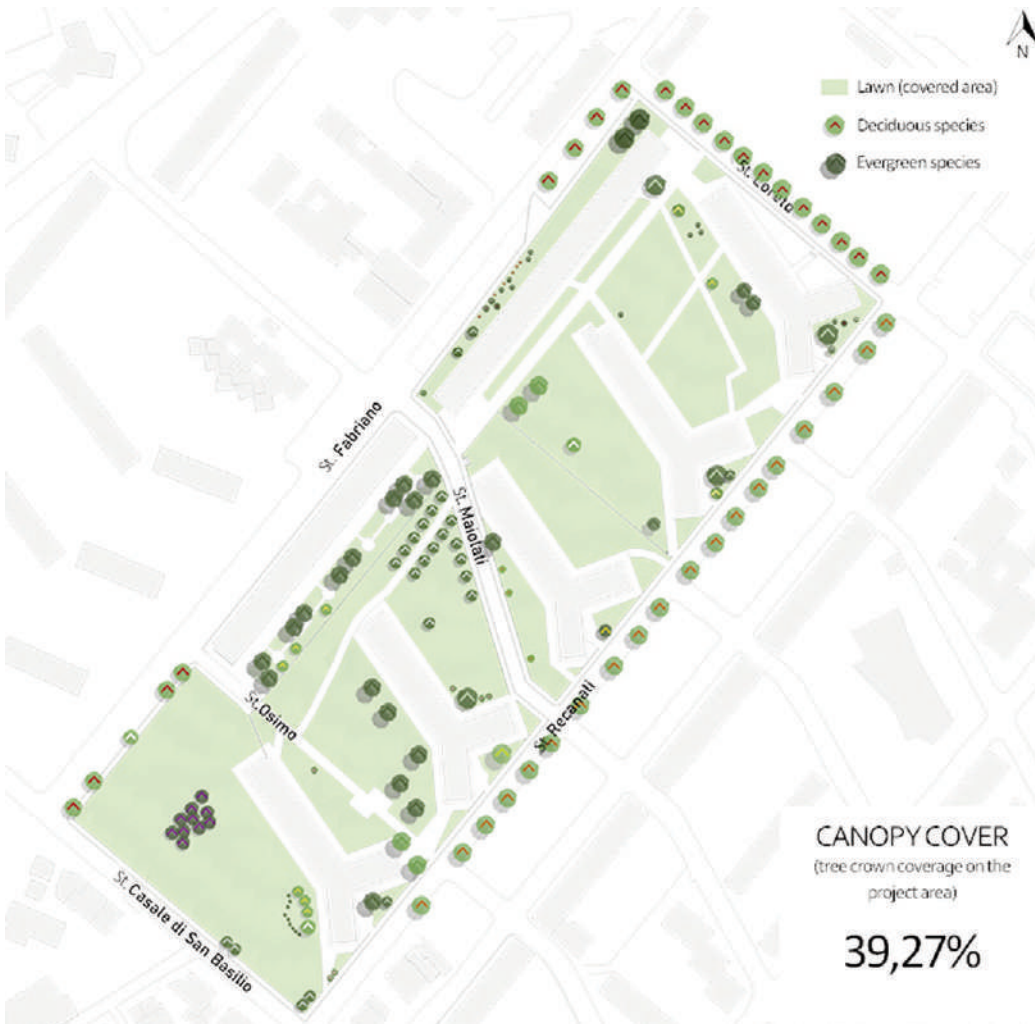
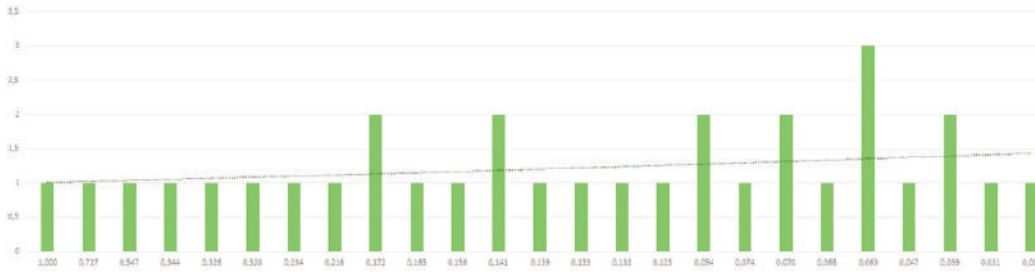
**The proposed greening intervention aimed at removing carbon and increasing environmental quality**

| The proposed intervention for the entire San Basilio zone plan is based on the one hand on increasing – in a targeted and planned (and simulated) way – the already existing masses of vegetation, autochthonous and with a high capacity for environmental mitigation, by eliminating potentially allochthonous and invasive species; and on the other hand on recovering, repurposing, and valorising the open spaces, while raising their overall environmental quality (Fig. 18).

The proposed scenario called for strengthening resilient autochthonous species, including 'Fagus sylvatica', 'Olea europaea', and 'Pinus pinea', and for introducing 5 more sustainable plant species with high capacities of environmental mit-

igation in absorbing and storing carbon from the atmosphere, such as 'Pinus halepensis', 'Populus tremula', 'Quercus pubescens', and 'Quercus suber'<sup>4</sup>. In addition, 128 infesting and invasive trees and shrubs were uprooted, including, for example, 'Acacia dealbata', 'Ailanthus altissima', 'Junglas regia', and 'Robinia pseudoacacia', as well as shrub species, mainly Pinus pinea that were too close to buildings and created problems of natural ventilation and shading in the inspections performed during the summer and winter periods, also bringing clear problems of structural hazard as found using the VTA (Visual Tree Assessment) technique.<sup>5</sup>

More than 70 'Laurus nobilis' shrubs were conserved, defining the 200 metres of hedges and roadside shrubbery present in the intervention area. Overall, 587 new tree and shrub individuals were introduced, allocated to decayed, recovered,



and requalified areas (32 genera for a total amount of 961 individuals), for a total carbon absorption equalling 506.816 KgCO<sub>2eq</sub>/year. The 32 species present in this requalification scenario are, nearly exclusively, prevalingly autochthonous (94%, 30 species; Fig. 19), with a considerable increase of environmental sustainability demonstrated, according to the Exoticity status (Fig. 20), by the constitution of mainly indigenous-type species (91%, 29 species), followed by accidental neophytes (3%, 1 species), naturalized neophytes (3%, 1 species), and naturalized archeophytes (3%, 1 species).

**Discussion of the results** | The adoption of the strategies described above-defined planning lines verifiable through the quantification of the effects they introduce into the experimentation area. In detail, these green solutions are related to: increasing the stock of trees and shrubs by valorising the existing sustainable species; introducing new autochthonous ones with high environmental sustainability that are spontaneous in the metropolitan territory of Rome; increasing wetland areas; and valorising open spaces. The capacity of the area's tree stock to absorb CO<sub>2</sub> from the atmosphere, as resulting from the planned and simulated operations of introducing and eliminating given species (Fig. 21), is, on the whole, at a high level, thus improving the absorption performance over the current state.

It bears noting that the species with the highest potential for absorbing and storing carbon is 'Pinus halepensis', an indigenous and spontaneous entity in the metropolitan City of Rome, and with a high capacity for environmental mitigation; it is no coincidence that it was among the species introduced into the area's urban reforestation plan. The TS applied for the species present in this scenario (Fig. 22) shows a uniform distribution frequency with the maximum value of 1, a minimum value equal to 0.008, and a TSm equal to 0.188, increasing by 28% over the current state the environmental capacity of carbon absorption about exoticity status.

The mix of the environmental strategies determines, overall, a +183% (1,068,380 KgCO<sub>2eq</sub>/year) increase in CO<sub>2</sub> absorption over the current state, derived from the complex of design actions that yielded improved quality as well as a 30% (40,121 sqm) increase in green spaces, among which account must also be taken of those represented by the introduction of 'green roofs' and 'brown roofs' (1,152 sqm), with a consequent recovery of formerly degraded land. This methodological approach is still underway in another public housing area in the San Basilio neighbourhood built in the 1950s, specifically between Via Loreto and Via Casale di San Basilio (Fig. 23), yield-

**Fig. 22** | Distribution frequency graph of the 'taxonomic stocking index' (TS) for tree and shrub species in the urban regeneration proposal (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).

**Fig. 23** | Census of the masses of trees and open spaces in the nearby area of intervention between Loreto St. and Casale St. of San Basilio (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).

**Fig. 24** | Preliminary design proposal for environmental mitigation in the nearby area of intervention between Loreto St. and Casale St. of San Basilio (credit: F. Tucci and M. Giampaolletti, 2022).

ing, preliminarily, values similar to this research (Fig. 24).

### Research conclusions and future outlooks |

The research emphasized important strategies in the field of green solutions aimed at increasing environmental well-being in a peri-urban neighbourhood of the metropolitan City of Rome, proposing intervention scenarios aimed at increasing the capacity for storing carbon from the atmosphere through actions of urban reforestation with autochthonous species with a high capacity for environmental mitigation.

The future outlooks for the research are based on putting calculation and verification methodologies in place in accordance with the establishment of solid and scientifically reliable databases calibrated to the characteristics of the national context and in particular to those of areas constituting urban and peri-urban city neighbourhoods. And they can involve increasing the surveyed tree and shrub species, while progressively broadening the sphere of application to the whole country (and, in theory, with a view to growth, at least to Europe and even worldwide), to provide the scientific community and the players in the process – such as those in the public and private sector hopefully in favour of increasing knowl-

edge of these strategies and practices, as in the case of the San Basilio zone plan submitted by way of example in the paper – with a thorough and detailed model to calculate the carbon absorption that can be achieved, aimed at fostering, in the processes of requalifying open spaces, the introduction of autochthonous individuals, thus disincentivizing alien and often highly invasive species (European Commission, 2021).

The increase of tree and shrub species surveyed and implemented in the submitted database will also contribute towards refining and improving the ‘taxonomic storage index’ (TS) to the extent applicable in each national – and, in the future, European (and even global) – area, and comparable among several areas even distant from one another, through the use of the ‘mean taxonomic storage index’ (TSM). The latter might also find a potential relationship with the number of trees and shrubs that make up an intervention area as a city district or neighbourhood can be; in the proposed case, within the metropolitan City of Rome, this application could not be fully carried out on the metropolitan territory since there is as yet no complete and detailed inventory of the tree and shrub masses that are present, but only that of the shrubs in the parks and green spaces managed by the Municipal Admin-

istration, thus presenting a limitation on this research.

Lastly, more future research prospects can relate to the comparison between neighbourhoods and districts of a given city or European and world cities, in order to perfect the ‘mean taxonomic storage index’ (TSM) by investigating its potential relationships with the environmental and energy certifications often present in urban regeneration interventions – as they are in the ecological districts of Aspern Seestadt in Vienna and Clichy Batignolles in Paris – to quantify the reductions of carbon emissions in the atmosphere.

### Notes

1) A district is an urban or peri-urban area of a city that is the object of potential interventions of urban regeneration and energy efficiency of buildings, using passive bioclimatic solutions, an increased functional mixité, use, reuse, and informed management of resources, sustainable mobility, and actions aimed at achieving decarbonization goals.

2) Autochthonous and spontaneous species with a ‘taxonomic storage index’ (TS) equal to 1 have greater sustainability in terms of capacity to absorb carbon from the atmosphere in relation to their exoticity status (E); in this way, with 1 being the denominator, the index’s value will depend exclusively on the carbon storage capacity (C).

3) WGS84 (World Geodetic System 1984) is a worldwide geodetic system of geographic coordinates based on an ellipsoid of reference developed in 1984.

4) Five new tree and shrub species not surveyed in the requalification area but proposed in the urban regeneration plan because they are autochthonous, sustainable, and spontaneous in the metropolitan City of Rome and with high capacities for absorbing and storing CO<sub>2</sub>, were introduced.

5) The VTA method, assessed on biomechanical bases, consists of the visual assessment of external symptoms and warning signals of structural or plant-protection hazards, thus allowing the trees at static risk to be quickly identified.

### References

- Andreucci, M. B. (2017), *Progettare Green Infrastruttura – Tecnologie, valori e strumenti per la resilienza urbana*, Wolters Kluwer, Milanofiori Assago.
- Città metropolitana di Roma Capitale (2021), “Bilancio Arboreo”, in *comune.roma.it*, 24/09/2021. [Online] Available at: [comune.roma.it/web/it/scheda-servizi.page?contentId=INF70550](http://comune.roma.it/web/it/scheda-servizi.page?contentId=INF70550) [Accessed 25 March 2022].
- EEA – European Environment Agency (2021), “Urban sustainability in Europe – Opportunities for challenging times”, in *eea.europa.eu*, 14/06/2021. [Online] Avail-

able at: [eea.europa.eu/publications/urban-sustainability-in-europe](http://eea.europa.eu/publications/urban-sustainability-in-europe) [Accessed 25 March 2022].

European Commission (2021), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Fit for 55 – Delivering the EU’s 2030 Climate Target on the way to climate neutrality*, document 52021DC0550, 550 final. [Online] Available at: [eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021DC0550](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021DC0550) [Accessed 25 March 2022].

Galasso, G. et alii (2018), “An updated checklist of the vascular flora alien to Italy”, in *Plant Biosystems*, vol. 152, issue 3, pp. 556-592. [Online] Available at: [doi.org/10.1080/11263504.2018.1441197](https://doi.org/10.1080/11263504.2018.1441197) [Accessed 25 March 2022].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022), *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability – Summary for Policymakers*, Switzerland. [Online] Available at: [reliefweb.int/report/world/climate-change-2022-impacts-adaptation-and-vulnerability](https://reliefweb.int/report/world/climate-change-2022-impacts-adaptation-and-vulnerability) [Accessed 25 March 2022].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2021), *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis – Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press. [Online] Available at: [ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Full\\_Report.pdf](https://ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf) [Accessed 25 March 2022].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2019), *2019 Refinement to the Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Volume 4 – Agriculture, Forestry and Other Land Use*, Switzerland. [Online] Available at: [ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html](https://ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html) [Accessed 25 March 2022].

Pignatti, S., La Rosa, M. and Guarino, R. (2017), *Flora d’Italia*, voll. 1-4, Edagricole, Bologna.

Regione Toscana (2018), *Piano Regionale per la qualità dell’aria ambiente – Linee guida per la messa a dimora di specifiche specie arboree per l’assorbimento di biossido di azoto, materiale particolato fine e ozono*. [Online] Available at: [regione.toscana.it/documents/10180/](http://regione.toscana.it/documents/10180/)

4058647/Allegato+1+Linea+guida+Piantumazione+31\_10\_2018.pdf/c99d86e0-811d-44da-836e-adb6f255f28c [Accessed 25 March 2022].

Tucci, F. (2021), *Climate Responsive Envelopes – Frontiers of technological and performance innovation in the design of the buildings skin | Frontiere dell’innovazione tecnologica e prestazionale nel progetto della pelle degli edifici*, Altralinea Edizioni, Firenze.

Tucci, F. (2018), *Green building and dwelling – Approaches, strategies, experimentation for an environmental technological design | Costruire e Abitare Green – Approcci, Strategie, Sperimentazioni per una Progettazione Tecnologica Ambientale*, Altralinea Edizioni, Firenze.

## REPERTORI APERTI PER ISTRUIRE SISTEMI URBANI ECOLOGICI

Strumenti grafici e transizione verde

## OPEN REPERTOIRES FOR INSTRUCTING ECOLOGICAL URBAN SYSTEMS

Graphic tools and green transition

Maurizio Marco Bocconcino, Mariapaola Vozzola

### ABSTRACT

Il contributo intende esplorare metodologie e tecniche di attuazione della riduzione e della mitigazione degli impatti su ecosistema e biodiversità attraverso strumenti di formazione e comunicazione per l'efficace comprensione da parte di pubblici eterogenei e pluridisciplinari. Il tema proposto è parte di una ricerca più ampia, avviata da qualche anno, che affronta i concetti della resilienza, della qualità e del benessere nelle città; particolare attenzione viene ora data a quelle soluzioni 'basate sulla natura' che possono essere utilmente adottate nell'ambiente costruito per occupare il suolo in maniera ecologica e realizzare misure di adattamento e rafforzamento delle capacità urbane. L'impiego della modellazione informativa è esplorato per allestire un ambiente interattivo di supporto alla formazione per il progetto, all'interno del quale operare con chiavi di lettura multipla.

This contribution aims to explore methodologies and techniques for implementing the reduction and mitigation of ecosystem and biodiversity impacts through training and communication tools for adequate understanding by heterogeneous and multidisciplinary audiences. The proposed topic is part of broader research started a few years ago that addresses the concepts of resilience, quality and well-being in cities; particular attention is now given to those 'nature-based' solutions that can be usefully adopted in the built environment to occupy land ecologically and to implement adaptation and capacity-building measures in cities. The use of information modelling is explored to set up an interactive training support environment for the project, which can be operated with multiple keys.

### KEYWORDS

abachi grafici, progetto del verde, rigenerazione urbana, qualità e benessere dello spazio pubblico, sistemi e modelli informativi

graphic tables, green design, urban regeneration, quality and well-being of public space, information systems and models

**Maurizio Marco Bocconcino**, Engineer and PhD, is an Associate Professor of Drawing at the Department of Structural, Geotechnical and Building Engineering of the Politecnico di Torino (Italy). Member of the Interdepartmental Centre of Politecnico di Torino R3C (Responsible Risk Resilience Centre) and member of the Urban and Social Regeneration Group of Fondazione Sviluppo e Crescita CRT, he deals with information systems and models for the study and representation of the territory and the city and related phenomena. E-mail: maurizio.bocconcino@polito.it

**Mariapaola Vozzola**, Engineer and PhD, is a Researcher of Drawing at the Department of Structural, Geotechnical and Building Engineering of the Politecnico di Torino (Italy). She carries out research mainly in surveys and representation, with particular attention to green issues and design for urban resilience. E-mail: mariapaola.vozzola@polito.it

Nell'ambito delle politiche e delle strategie di sviluppo sostenibile del territorio la transizione ecologica (Larrère, Larrère and Bouleau, 2016), della quale la misura e la qualità della resilienza è strumento integrante, assume un ruolo centrale. Il cambiamento rappresenta una sfida fondamentale, costituita in modo significativo dal miglioramento dell'efficienza complessiva nell'impiego delle risorse. Le nuove emergenze cui si cerca di rispondere stanno focalizzando l'attenzione sul parco immobiliare, sui sistemi energetici, sulla mobilità, sui cambiamenti climatici, sulla natura (Wong and Brown, 2008) ed è necessario considerare come punto di avvio del processo di ripresa soprattutto il patrimonio sociale, culturale e infrastrutturale. Il tema della sostenibilità degli interventi nella rigenerazione urbana (Garsia, 2015) si intreccia con la ripresa verde e il superamento della purtroppo ormai costante crisi. In questo campo rivestono notevole importanza gli aspetti legati all'educazione dei giovani operatori e alla formazione, anche permanente, dei professionisti; aspetti questi che devono incorporare gli elementi di transizione verde nelle discipline e nei saperi tradizionali e nel loro percorso di innovazione costante. In questo campo devono essere esplorate tanto le metodologie e le tecniche di attuazione per la riduzione e la mitigazione degli impatti su ecosistema e biodiversità, quanto gli strumenti di informazione e comunicazione per una loro più efficace comprensione da parte di pubblici specializzati e non specializzati. Coordinare il quadro delle conoscenze teoriche e applicate può diventare riduttivo per la corretta impostazione del progetto di rigenerazione dello spazio urbano.<sup>1</sup>

Progettare il verde nelle nostre città diviene occasione per ridisegnare il paesaggio 'apparentemente statico' del tessuto urbano e avvicinarlo a quello 'vivo e dinamico' del mondo vegetale (Perini, 2013). L'architettura del verde nello spazio urbano acquista un rinnovato ruolo da protagonista nello «[...] spettacolo dei quattro atti della natura che si realizzano durante le stagioni» (Pizzetti, 2006, p. 67). La presenza e la qualità del verde nelle città sono al centro delle politiche urbanistiche di molte Amministrazioni Pubbliche. Le iniziative hanno l'obiettivo di recuperare spazi in tessuti densamente edificati o di riorganizzare frammenti verdi già presenti all'interno del tessuto stratificato (Viganò, 2020). Il proposito di introdurre servizi ecosistemici e di applicare strategie di cosiddetta 'microchirurgia urbana' si sta concretizzando e realizzando in numerosi progetti di carattere interdisciplinare (Charbonneau, 2019).

La testimonianza di una serie di casi rappresentativi realizzati in ambito nazionale e internazionale è solo il punto di partenza per evidenziare l'importanza e il ruolo dei sistemi ecologici impiegati nelle aree destinate all'uso pubblico nelle operazioni di cambiamento e sviluppo delle città. L'impiego della modellazione informativa alfanumerica e geometrica è qui esplorato per allestire una pluralità di ambienti interattivi di supporto alla formazione per il progetto; all'interno di questi luoghi è possibile operare filtrando i temi attraverso chiavi di lettura multipla come le criticità che occorre affrontare, il contesto di intervento, i criteri e i vincoli di progetto, gli standard e gli accorgimenti adottati nelle migliori pratiche.

In altre occasioni di confronto scientifico so-

no stati discussi i primi approfondimenti relativi alla costituzione di un abaco grafico relativo a interventi progettuali sulla città, repertorio di soluzioni-azioni-strategie di rigenerazione orientate alla pianificazione e al progetto della resilienza urbana (Garzino et alii, 2021). In questa occasione è illustrato lo sviluppo della componente didattica dello strumento, declinato al tema specifico del greenery; il Consiglio Europeo ha rivolto specifica attenzione al tema dell'Heritage Education. In particolare, la Recommendation of the Committee of Ministers to Member States Concerning Heritage Education (Council of Europe, 1998) ha sottolineato come il Patrimonio Culturale includa ogni traccia materiale e immateriale dell'azione dell'uomo e raccomanda una pedagogia basata sul Patrimonio che includa metodi di insegnamento attivi, proposte curricolari trasversali, partenariati tra i settori educativo e culturale, l'impiego della più ampia varietà di modi di comunicazione della conoscenza.

Il contributo si pone nel solco della educazione attiva attraverso metodi di diffusione e divulgazione che prevedono un'interazione diversificata per ogni profilo di utenza e che si prestino anche alla implementazione dei contenuti da parte di soggetti accreditati, secondo protocolli standard di interazione. Parte fondamentale della diffusione dei risultati ottenuti è rappresentata dalla predisposizione di materiali didattici e scientifici interattivi. Indicativamente a ottobre 2022 sarà accessibile online il primo rilascio del prototipo attualmente pubblicato in extranet<sup>2</sup>; sono qui proposti strumenti integrati per la classificazione di interventi basati sulla natura e la loro organizzazione all'interno di un sistema informativo.

Temi centrali sono l'interoperabilità tra gli ambienti di modellazione informativa, l'organizzazione dei dati in database relazionali e le interfacce web per l'interrogazione e la consultazione delle informazioni. La differenziazione dei profili degli utenti consente l'arricchimento delle informazioni strutturate; la possibilità di ricercare e anche di completare e inserire nuovi elementi da parte di utenti specificamente accreditati caratterizza infatti il repertorio come sistema aperto di conoscenze. Nei successivi paragrafi saranno illustrati obiettivi e metodologia di lavoro, fasi e ambienti di elaborazione che costituiscono il repertorio, alcune specificità applicative e la loro discussione, infine conclusioni e possibili sviluppi.

**Obiettivi e approccio metodologico** | Obiettivo della ricerca è l'elaborazione di linee guida per l'individuazione di possibili interventi – diretti, riconducibili essenzialmente al rilievo e alla rappresentazione urbana, alla tecnica urbanistica e all'architettura tecnica, e indiretti, di tipo amministrativo e pianificatorio – da ricomprendere nella strumentazione relativa all'attuazione dei Piani di riqualificazione che intendono incorporare le qualità della natura (Nature-based Solutions – NbSs)<sup>3</sup>. Il lavoro di ricerca organizza e propone molteplici soluzioni all'interno di un ambiente dinamico di consultazione; la base di dati attinge alla lettura di numerosi interventi distribuiti nel globo terrestre ed è interconnessa con modelli digitali che condividono e ibridano i saperi e le nuove esigenze attraverso il linguaggio comune della rappresentazione grafica. Il risultato propone il disegno di un numero aperto e implementabile

di soluzioni operative delle criticità ambientali e sociali caratterizzate da attributi significativi che circoscrivono metodologicamente il loro campo di applicazione; questo insieme definito di proposte dovrebbe favorire la selezione consapevole di quelle ritenute idonee per l'inserimento nei diversi aspetti di studio progettuale con auspicabile impatto sulla comunità scientifica e professionale.<sup>4</sup>

Il percorso metodologico individua modi e strumenti utili alla determinazione di strategie e principi nel campo della progettazione urbanistica e architettonica, ponendo particolare attenzione all'utilizzo di elementi naturali come determinanti integrate, collaboranti, o risolutive. I dati raccolti e le riflessioni che si generano mediante la lettura di quadri sinottici, raccolti all'interno di un geodatabase, si propongono come base per la costruzione di un abaco grafico operativo inerente la rigenerazione della città contemporanea. Il repertorio progetti e l'abaco soluzioni, aperti alla lettura e al contributo di diverse competenze, possono diventare strumenti di conoscenza e orientamento per sviluppare ambienti ecologici capaci di affrontare i diversi agenti, ridurre la propria vulnerabilità e rispondere in modo mirato ai rischi. Il sistema informativo costituisce terreno di condivisione e strumento di supporto alle compagini di studiosi, professionisti e Amministratori pubblici, offrendo un ventaglio di possibili soluzioni opportunamente classificate e descritte per mezzo di apparati grafici dinamici, tridimensionali e parametrizzati che intendono sostenere la qualità del progetto per favorire un clima di benessere e convivenza tra i cittadini.<sup>5</sup>

**Fasi della ricerca, ambienti di elaborazione interoperabili e prodotti per la formazione** | Diversi sono gli ambienti di elaborazione del sistema, differenti i luoghi di interazione. Database locali collegati a database distribuiti, schede di diverso formato (statico e ipertestuale), mappe dinamiche di inquadramento e carte di rilievo, scene urbane parametrizzate, lavorano insieme per costruire il quadro complessivo delle conoscenze. L'interoperabilità delle tecnologie adottate consente di generare sistemi integrati di dati che producono e ricevono informazioni all'interno di una cornice metodologica coerente: tassonomie, glossari grafici e parametri delimitano e ordinano l'universo delle risorse informative cui poter attingere (Fig. 1). Gli ambienti allestiti sono di seguito descritti.

Repertorio Progettualità e Patrimoni Grafici. Nel primo di questi ambienti sono anzitutto raccolte e criticamente proposte azioni in contesti di riqualificazione e rigenerazione a diverse scale operative in rappresentativi ambiti urbani; le tipologie di intervento sono classificate e ricondotte all'interno di schede ipertestuali che illustrano le differenti soluzioni mediante un apparato composito e collaborante di rappresentazioni grafiche: le 'soluzioni verdi' raccolte rispondono positivamente a diversi fenomeni. L'opportunità di riferirsi a una casistica vasta di applicazioni reali (cfr. mappatura dei progetti schedati, Fig. 1 in alto a destra) è legata all'esigenza di dover verificare e misurare in opera l'effetto delle diverse azioni. In questo senso, la matrice restituisce benefici ove possibile riscontrati nella pratica, altrimenti desunti da aspetti teorici col-



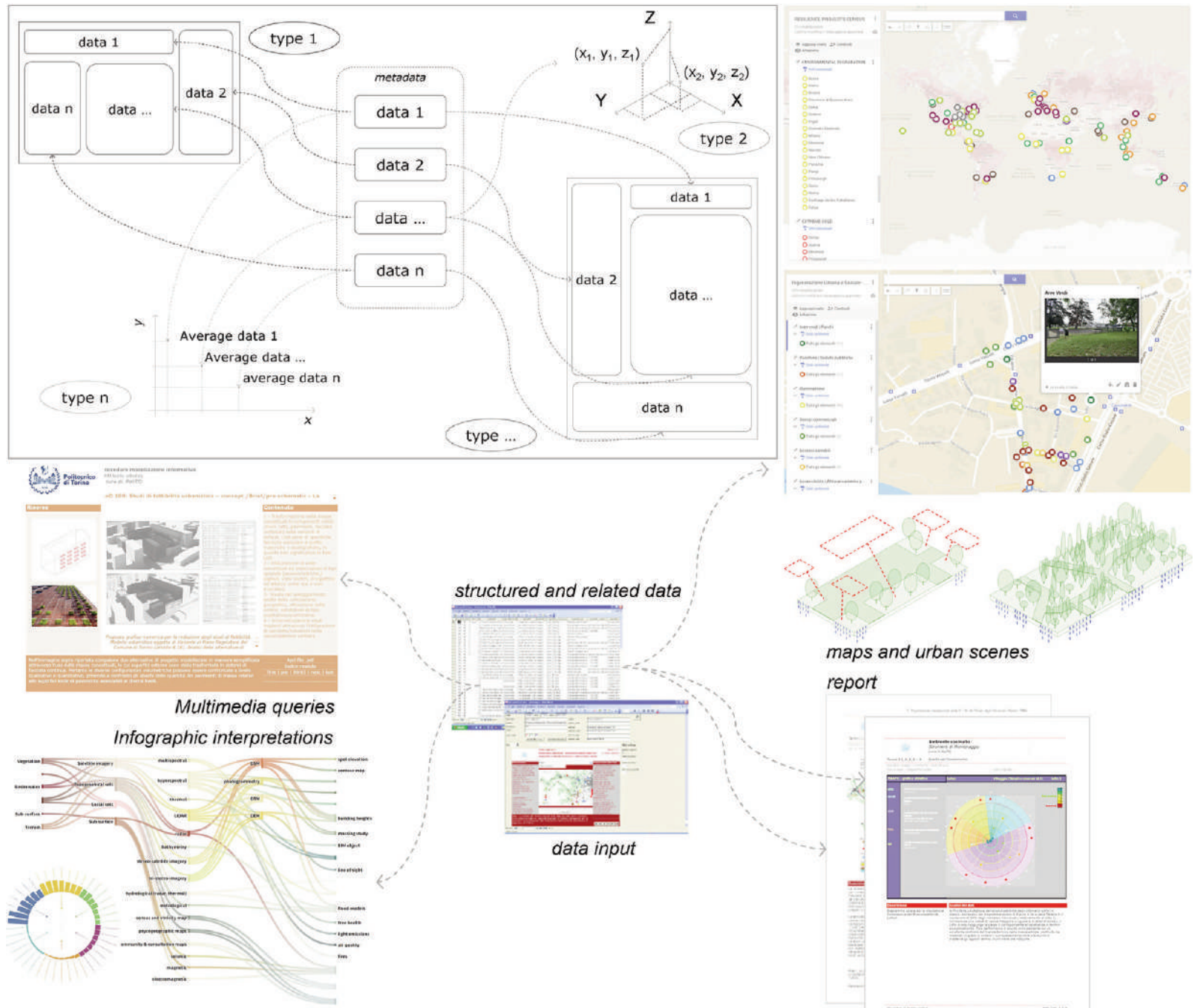


Fig. 1 | Centrality of data, formats and supports, management and query interfaces.

legati alla biologia e alla fisiologia, nonché ad aspetti percettivi di tipo qualitativo.

Spesso l'effetto positivo dichiarato dai differenti interventi ha natura 'aprioristica e non quantitativa', non è sempre possibile misurare analiticamente il contributo delle diverse soluzioni, in particolare quando ciò che deve essere misurato è il benessere psico-fisico delle singole persone. La psicologia ambientale e architettonica offre un valido ausilio in questo senso, attraverso la psicomedia, affiancando valutazioni oggettive (come potremmo considerare la valutazione di impatto ambientale o la valutazione di incidenza) a valutazioni soggettive (tra tutte la valutazione post-occupativa, ovvero dal punto di vista delle persone che occupano e utilizzano gli ambienti), tra loro opportunamente integrate (Hadjri and Crozier, 2009). L'ambiente è organizzato in un database relazionale online; da questo elenco si producono schede ipertestuali

descrittive che sono associate alla georeferenziazione automatica dei progetti, sempre in ambiente consultabile online.

Abaco di Soluzioni e Schede d'Intervento. Il prontuario delle possibili soluzioni costituisce un altro ambiente di raccolta e interazione, l'Abaco di Soluzioni inteso come matrice di proposte ideali, adattabili e applicabili. Il sistema urbano e i fenomeni ai quali è esposto vengono ricondotti a tipologie di intervento attraverso la costruzione e la rappresentazione di azioni e casi di studio. I codici grafici sono inoltre indagati all'interno dell'abaco con lo scopo di mettere in relazione i criteri di valutazione sistemica con reazioni specifiche che è possibile intraprendere, supportate da modelli parametrici informativi. La catalogazione e la classificazione delle possibili soluzioni di riqualificazione avviene per mezzo di una matrice a ingresso multiplo delle soluzioni avente per elementi/righe le diverse tipologie di

intervento e per colonne le principali proprietà di ogni singola soluzione: i possibili strumenti per l'attuazione (strumenti di pianificazione e di regolamentazione); i possibili attori coinvolti nell'intervento; le tempistiche di realizzazione (breve, medio e lungo periodo); i riferimenti normativi; la valutazione di massima dei possibili benefici diretti, indiretti e indotti che possono derivare dall'attuazione dell'intervento (di carattere ambientale, paesaggistico, sociale); i principali parametri per la stima del costo economico.

A ogni criticità/fenomeno (input, dato in ingresso per l'impiego della matrice) sono state associate un certo numero di schede (output, dato in uscita dalla matrice) compatibili con la criticità e applicabili con diversi benefici e differenti costi economici. Per ogni elemento/riga della matrice sono esplicitate schede tecniche di intervento che individuano un insieme ben definito di informazioni tecnico-specialistiche a

supporto dell'attività dei soggetti direttamente preposti agli interventi sul territorio; in una fase successiva occorrerà prevedere i mezzi e i processi operativi e procedurali per formare il sistema delle competenze e per consentire la verifica preventiva delle ricadute ambientali connesse alle scelte di programmazione e pianificazione territoriale ed ambientale.

Le schede contengono, oltre alla sintesi dei dati presenti nella matrice generale, approfondimenti tematici (soggetti promotori e soggetti attuatori, iter approvativo, autorizzazioni necessarie, documentazione da produrre, compatibilità con la normativa e gli strumenti di pianificazione vigenti, regime vincolistico) affiancati da schemi esplicativi (piante, prospetti e sezioni urbane, planivolumetrici ed esplosi edilizi, confronti tra stato di fatto e prefigurazioni di intervento). Le schede di intervento costituiscono la base tecnica delle linee guida per l'individuazione degli interventi diretti e indiretti; uno dei contributi applicativi della ricerca afferisce infatti anche al livello normativo e regolamentare e trova esplicitazione attraverso la proposta di disposizioni integrative delle norme tecniche di attuazione dei Piani Regolatori Generali comunali, dei regolamenti igienico-edilizi, dei regolamenti di polizia municipale.

Scene BIM-GIS – Famiglie di Masse Urbane ed Elementi di Allestimento e di Arredo dello Spazio Pubblico. All'abaco e alle schede di intervento sono associati modelli informativi, masse edilizie, coperture, elementi di integrazione dello spazio pubblico e di arredo urbano che possono essere parametrizzati in ragione delle ipotesi di intervento; ciò consente di prefigurare scenari

alternativi di massima e di raffrontare questi rispetto alle differenti caratteristiche considerate nella matrice delle soluzioni. L'estrazione dei dati parametrici associati al modello informativo può successivamente interoperare in diversi ambienti informatici per la calcolo dei fattori di pressione nella scena urbana allestita: analisi di tipo geo-spaziale, livelli per analisi raster bi e tri dimensionali, simulazioni climatiche e ambientali. Gli scenari predisposti rappresentano un utile strumento a supporto del progettista e dello studioso in quanto consentono di intercambiare elementi del modello misurandone la relativa potenziale efficacia. Evidentemente si tratta di strumenti per lo studio progettuale di massima che incidono sull'efficienza del processo, ma che hanno necessità di costanti aggiornamenti e di competenze che sappiano discernere rispetto alle soluzioni che automaticamente possono essere estratte.

Applicazioni Ambito Torinese – Rilievo Fotografico Tematico Speditivo. Un ambiente applicativo è infine rappresentato da strumenti di supporto al rilevamento urbano 'di campo'; sono attive interfacce web per la raccolta e l'organizzazione delle immagini fotografiche, classificate e georiferite su cartografia tematica. Il prototipo predisposto consente ingressi multipli di interrogazione e interscambio tra diversi ambienti. È ad esempio possibile filtrare il repertorio dei progetti o l'abaco delle soluzioni per parole chiave, così come è possibile selezionare le classi tematiche impostate per il rilievo di campo.

Repertorio, Abaco, Scene e Rilievo sono ambienti interrelati tramite le voci 'rischio' e 'feno-

meno' (Fig. 2); le proposte e gli indirizzi scaturiscono da una rassegna in progress di interventi di livello internazionale che riguardano in generale le diverse declinazioni del tema della resilienza urbana. È stata infatti definita una tassonomia sulla base della pubblicistica esistente relativa a Rischio e Fenomeno intesi come principale minaccia di natura antropica o naturale (rischio) e specifica espressione della minaccia (fenomeno). Pericolosità, esposizione e vulnerabilità sono definite univocamente in letteratura (Costa and Kropp, 2013) e si applicano in ragione delle caratteristiche di diversi parametri, in particolare relativi alla numerosità e distribuzione della popolazione e alla tipologia di strutture e infrastrutture che possono essere interessate dai differenti fenomeni. Le considerazioni che seguono illustrano approcci di studio relativi alla costituzione di un prontuario di possibilità applicative.

**Discussione dei risultati: dall'analisi dei casi di studio alla generazione dei modelli dell'abaco delle azioni**

Come premesso, l'attenzione agli spazi pubblici e privati assume oggi un valore fondamentale, poiché rappresenta la concezione di una nuova urbanistica che vede nella progettazione del verde una infrastruttura che ci permetterà di ritrovare un nuovo equilibrio con la città costruita (Perini, 2013). La progettazione degli spazi urbani sta definendo un nuovo rapporto tra costruito e natura (Comino, Molari and Dominici, 2021); un'invasione gentile del verde nella maglia urbana (Zaffi and D'Ostuni, 2020). L'approccio greenery che sta quindi ridefinendo gli equilibri dell'immagine urbana (Bellini and Moc-

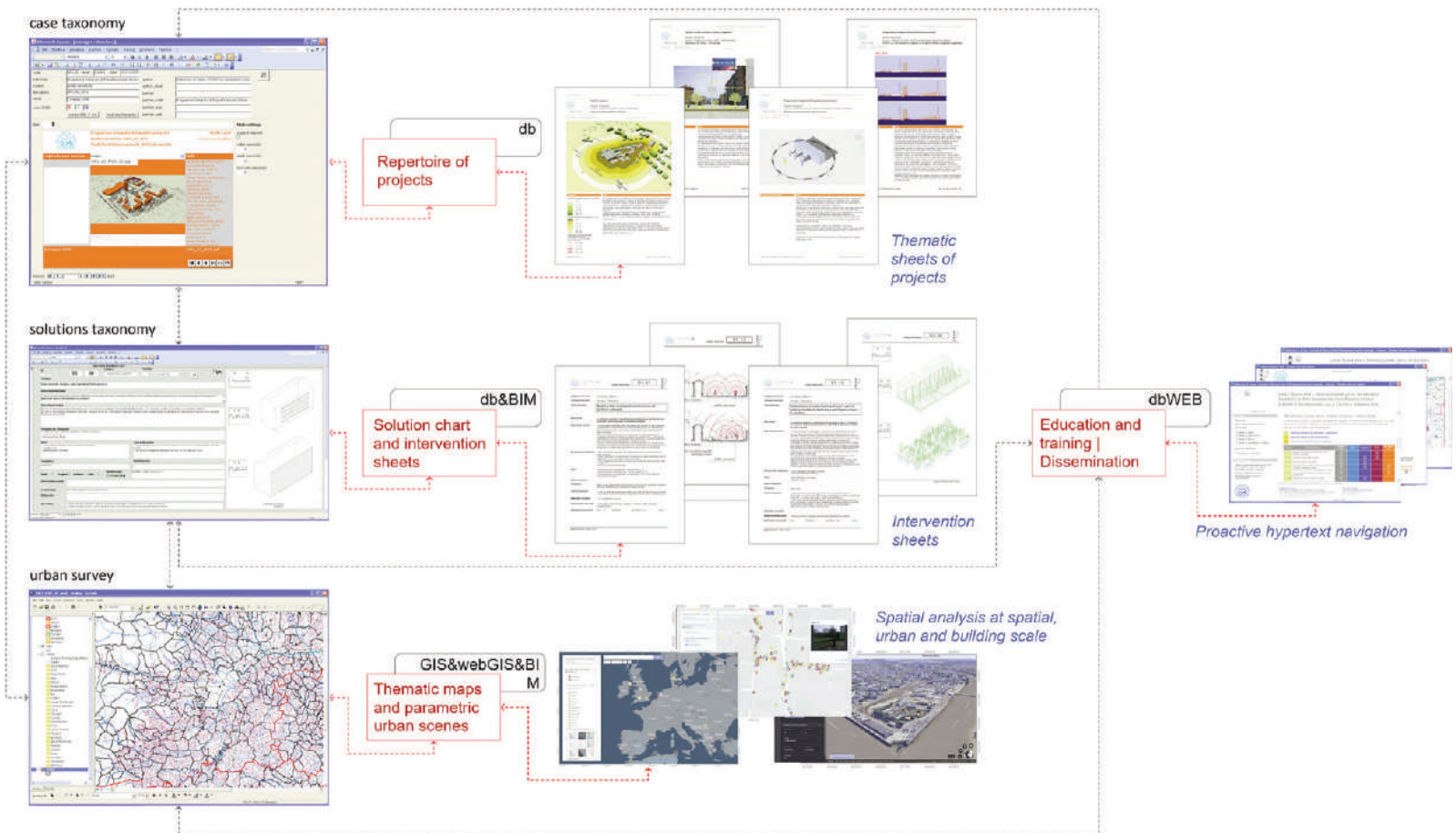


Fig. 2 | Environments and processing products.



Fig. 3 | Classification of the main types of green spaces in urban areas and suburban areas (credit: M. Vozzola, 2022).

chi, 2017) è connotato da alcuni tratti distintivi, che lo caratterizzano all'interno degli spazi che lo ospitano: è possibile incontrarli al suolo o possono essere posti in quota, offrendo aperture visive sull'intorno, garantendo diverse tipologie di fruizione, a seconda della loro ubicazione, definendo un confine tra l'ambiente domestico e quello pubblico. Il verde viene quindi inserito all'interno della scena urbana attraverso l'adozione di soluzioni tecnologiche tradizionali e/o innovative, che possono essere catalogate e analizzate seguendo diverse tipologie di gerarchie interpretative (Fig. 3).

Attraverso l'esplorazione e l'analisi di numerose esperienze condotte in ambito nazionale e internazionale (Repertorio Progettualità), viene

sottolineata l'importanza e il ruolo del verde: vengono realizzati quadri di sintesi e confronto dai quali sono generati i modelli che popolano l'abaco di soluzioni applicabili in contesti urbani diversi (Fig. 4). In letteratura è possibile trovare numerose testimonianze sul contributo positivo legato all'introduzione e all'utilizzo del verde in ambiti urbani consolidati (Yu et alii, 2016): una maggiore purificazione dell'aria (Nowak, 2006), la riduzione della percentuale di gas serra (Nowak and Crane, 2002), la pulizia dell'acqua e il filtraggio del vento (Chiesura, 2004), la riduzione del rumore legato alla presenza dei tetti e delle facciate verdi (Veisten et alii, 2012), la mitigazione dell'effetto isola di calore dovuta alla presenza di alberi (De Capua and Errante, 2019), sono solo

alcuni risultati positivi individuati nelle buone pratiche dalle quali sono stati generati i modelli dell'abaco.

Come detto nei paragrafi precedenti, i dati raccolti dall'esplorazione dei casi di studio e le riflessioni generate dalla lettura dei quadri esplorativi si propongono come base propedeutica per la costruzione di un abaco operativo per la rigenerazione urbana della città contemporanea, attraverso l'adozione di azioni basate sull'utilizzo del verde in tutte le sue declinazioni. L'abaco viene concepito come uno strumento di consultazione e orientamento per sviluppare una progettazione resiliente, rispondendo in modo mirato al rischio attraverso la sua applicazione in un luogo specifico. I modelli che costituiscono l'a-

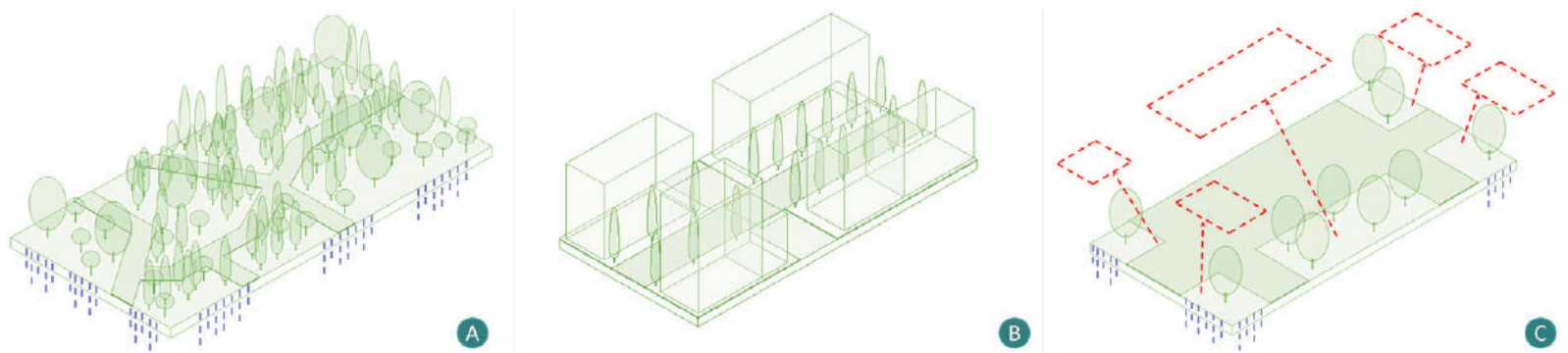
baco, suddivisi in base alla scala di intervento – dalla scala vasta (parchi, fasce temporanee e greenway regionali) a quella interurbana (greenway, parchi intercomunali) a quella urbana e microurbana (parchi, orti urbani, piazze verdi, foreste urbane, ecc.) fino alla scala edilizia (pareti verdi, tetto giardino, cortili verdi, serre bioclimatiche, ecc.) – rappresentano una selezione di buone pratiche da cui apprendere modalità e intenti progettuali, già applicati e valutati come ecologicamente riusciti (Fig. 5).

Nell'ambito delle ricerche condotte durante le fasi di mappatura e analisi dei progetti realizzati, uno dei risultati più evidenti è stato constatare come sia mutato il ruolo del verde negli anni: la natura non è più percepita esclusivamente come sfondo dell'architettura, ma diviene vero e proprio materiale costruttivo (Bellini and Daglio, 2009), utilizzato come valida soluzione al disagio

ambientale dell'inquinamento degli spazi urbani (Bellomo, 2009), volto a migliorare la qualità e la percezione del benessere abitativo dei singoli (Garzino et alii, 2021). Il benessere termico ad esempio si basa principalmente sul controllo della radiazione solare, della radiazione termica e del vento e tali parametri siano influenzabili e regolabili operando su alcune categorie di agenti, tra le quali una delle principali risulta essere il corretto utilizzo degli elementi di vegetazione all'interno del contesto urbano, mediante l'ottimale orientamento, la localizzazione, la gestione delle caratteristiche geometriche e tipologiche dell'elemento (permeabilità, stagionalità, velocità di sviluppo). Il verde diviene il protagonista principale di alcune azioni di mitigazione o adattamento, ed è quindi fondamentale riuscire a descriverlo come elemento singolo all'interno dell'abaco, rappresentando l'unità elementare median-

te la quale, personalizzando i parametri che lo caratterizzano, diviene componente di supporto agli attori coinvolti nelle fasi decisionali delle azioni di mitigazione e/o adattamento applicabili al contesto urbano in cui stanno operando.

Tra le proposte di catalogazione e di classificazione degli elementi di vegetazione ricordiamo quella presentata da G. Garzino (2010), che alla rappresentazione bidimensionale del verde associa parametri quali la tipologia di impianto (a filare, a macchia, ecc.), la forma (una circonferenza per rappresentare se il portamento è più arrotondato, un ovale se la forma è di tipo fastigiato, colonnare o ovoidale, un triangolo se il portamento è di tipo conico o piramidale), la classe di grandezza degli elementi, associata ai tratti con i quali sono tracciate le figure inscritte, la campitura più o meno fitta per esprimere una elevata compattezza, il colore più o meno chiaro per definire



| Analytical properties         |                              |
|-------------------------------|------------------------------|
| Heat exchange coefficient (U) | 10.460 W/(m <sup>2</sup> ·K) |
| Heat Resistance (R)           | 0.0956 (m <sup>2</sup> ·K)/W |
| Thermal mass                  | 14.04kJ/W                    |
| Absorption                    | 0.700000                     |
| Roughness                     | 3                            |

**Santiago , Chile | CONSORCIO NACIONAL DE SEGUROS**

**RISK:** Micro Surriscaldamento Urbano

**PHENOMENON:** Caldo Estremo | Ondate di Calore

**SDGS:**

**Country:** Chile

**City:** Santiago

**Location:**

**Project name:** Consorcio Nacional De Seguros

**Designer:** E. Buome, Asociados & B. Hualdebo

**Year of construction:** 1993

**Project status:** Realizzato

**Source:** [http://sketchume.it/wp-content/uploads/2014/11/2007\\_the\\_come\\_to\\_santiago\\_building\\_11green\\_silver.pdf](http://sketchume.it/wp-content/uploads/2014/11/2007_the_come_to_santiago_building_11green_silver.pdf)

**PROJECT DESCRIPTION:** The city of Santiago is oriented towards the west and its characteristic causes many problems of overheating during the summer. For this reason, the project has been developed with particular attention to the theme of facades and the technology used for its finishes. The design chooses more cerebral sources both technological and natural resources, creating vertical solutions conceived according to needs and functionality. The transparent external facade was doubled by designing a glass system detached from the glass curtain wall to protect the latter from the sun. The system was created by means of a metal grid to house climbing plants. The greenery is located inside overhanging planters, located on the third, eighth and twelfth floors (the plan is articulated according to the type of plant installed and its growth and development characteristics). Monitoring shows that the areas covered by the green screen have a 35% reduction in heat: the green skin absorbs light, transforming the facade into a vertical garden.

Fig. 4 | Extract of the abacus of solutions: A) Urban parks; B) Tree rows; C) De-paving and greenway (credit: M. Vozzola, 2022).

Fig. 5 | Vertical coplanar greenery at height: types of greenery location in urban contexts at building scale (credit: M. Vozzola; source: Bellini and Daglio, 2015).

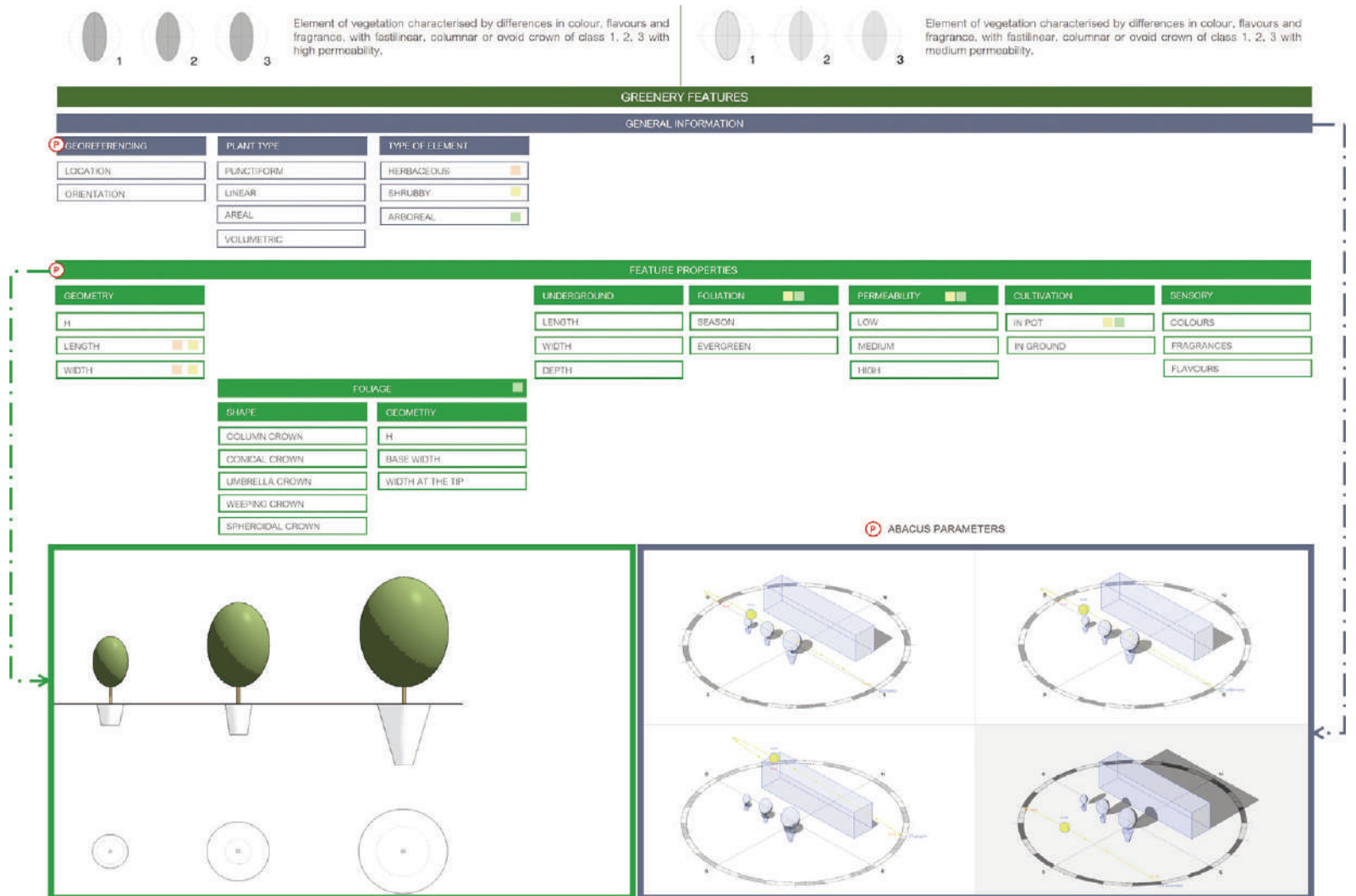


Fig. 6 | Characteristics of vegetation elements: from the cataloguing proposed by Giorgio Garzino (2010) to the definition of the parameters of the elements in BIM (credit: M. Vozzola, 2022).

il livello di permeabilità. Da qui si evince come la scelta della tipologia di verde da utilizzare nei progetti di adattamento e/o mitigazione sia fondamentale, e di come, la scelta corretta degli elementi di vegetazione da utilizzare risulti parte integrante delle scelte progettuali e strettamente correlata alle caratteristiche formali, funzionali ed estetiche degli elementi (Fig. 6).

Partendo quindi della definizione dei parametri che caratterizzano gli elementi di vegetazione sono state modellate le diverse tipologie di alberi, le quali, poste all'interno dei modelli, danno la possibilità ai professionisti/studiosi di valutare i benefici e le interferenze che possono nascere dall'utilizzo delle diverse specie arboree. Gli alberi sono stati modellati tenendo in considerazione non solo lo sviluppo soprassuolo, quindi tronco e chioma, ma anche quello in sottosuolo, ovvero lo sviluppo delle radici, al fine di valutare eventuali interferenze (in quota e nel sottosuolo) e l'ombreggiamento dell'albero sugli elementi circostanti.

**Conclusioni e possibili sviluppi** | La ricerca proposta sviluppa e applica una metodologia di analisi e rappresentazione volta alla predisposizione di un abaco grafico di soluzioni progettuali di livello urbano ed edilizio che rispondano alle nuove emergenze, con particolare attenzione agli aspetti ambientali, alla vulnerabilità dei territori le-

gata ai cambiamenti climatici e alla valorizzazione e messa in sicurezza dei patrimoni antropici e naturali. La finalità è quella di diffondere una nuova cultura del dato di progetto che, tra le diverse ricadute, ponga al centro il verde e la transizione. Due gli elementi di interesse principali: l'impiego di processi di modellazione informativa per la schematizzazione grafica e la simulazione numerica e qualitativa di soluzioni con elementi naturali e codici di rappresentazione associati; l'integrazione di metodi e tecnologie per allestire una 'piazza virtuale' condivisa in forma di abaco geo-grafico, interrogabile e implementabile.

Il sistema informativo allestito comprende: analisi e lettura critica di esiti di ricerca e progettazione in ambito nazionale e internazionale e di migliori pratiche in ambito professionale, restituite attraverso un quadro sinottico che incrocia le problematiche degli ambienti costruiti con tipologie di intervento 'verde' (prassi e stato dell'arte); interoperabilità delle componenti della modellazione informativa con l'interrogazione spaziale e alfanumerica all'interno di schemi conoscitivi operanti online; indicazioni metodologiche a studiosi e professionisti per aprire la costruzione in itinere dell'abaco; la strutturazione dei percorsi di navigazione attraverso filtri tematici (criticità, tipologie di intervento e soluzioni alternative).

Il Repertorio delle Progettualità e l'Abaco delle Soluzioni (integrato con le Scene urbane) vo-

gliono qualificarsi come sistema aperto di conoscenze, strumenti agili in grado di fornire informazioni rilevanti, anche in termini di apparati metodologici e strumentali e di linguaggi grafici per l'analisi e per il progetto. Repertorio e Abaco hanno un carattere 'aperto all'utenza', forniscono letture e accolgono visioni opportunamente strutturate e meta-documentate; essi possono consentire esportazioni, in forma di schede tecniche, attraverso parole chiave o interrogazioni spaziali, e sono predisposti per poter essere alimentati mediante specifici protocolli e procedure. Le principali criticità emerse riguardano le tecniche di rappresentazione e i codici grafici che occorre uniformare nella proposizione di un prontuario d'uso omogeneo e consistente. Quello del linguaggio grafico è un tema rilevante nella trasmissione dei saperi e nella comunicazione tecnica che si rivolge anche a pubblici non ancora formati sui temi progettuali: la chiarezza espositiva del comparto illustrativo può rendere maggiormente efficaci i processi di apprendimento e permanenza.

Nell'enciclopedico volume *L'Architettura degli Alberi*, Cesare Leonardi e Franca Stagi (1983, p. 13) ricordano che «[...] La scelta di progetto (l'uso, il senso di uno spazio) guiderà la risposta in un processo di ricerca che sappia tener conto a un tempo delle ore, delle stagioni, di dimensioni, numero e distanza degli alberi e nel quale

il computer è il necessario alleato del progettista per una nuova razionale invenzione della struttura e del disegno delle aree verdi». I lavori di sistematizzazione della conoscenza, come quello di Leonardi e Stagi, rendono evidente come occorra arricchire i patrimoni esistenti in chiave di diffusione e riuso affinché possano propagare i propri effetti, aggiornandosi e raggiungendo con più efficacia pubblici più vasti (Figg. 7-12). Conoscenze che non vanno disperse, sulle quali innestare in continuità 'nuovi saperi' attraverso 'nuovi modi' di relazionarsi con le informazioni e con 'nuove abilità', fino alle recenti esperienze nel campo della intelligenza artificiale applicata alla rianimazione urbana. Oltre alla maggiore articolazione, al costante arricchimento del repertorio delle soluzioni e delle esemplificazioni e alla applicazione di segni e simbologie grafiche uniformi, proprio il tema dell'applicazione dell'intelligenza artificiale può rappresentare uno sviluppo e un ulteriore impulso che occorrerà considerare per completare il sistema informativo che sta costituendo.

In the context of sustainable spatial development policies and strategies, ecological transition (Larrère, Larrère and Bouleau, 2016), of which the measurement and quality of resilience is an integral tool, assumes a central role. This change represents a fundamental challenge, significantly constituted by improving overall efficiency in resource use. New emergencies, to which we are trying to respond, are focusing attention on our housing stock, energy systems, mobility, climate change, and nature (Wong and Brown, 2008). It is necessary to consider social, cultural and infrastructural heritage as the starting point of the recovery process. The sustainability of interventions in urban regeneration (Garsia, 2015) is intertwined with green recovery and overcoming the unfortunately constant crisis. In this field, the aspects related to the education of young professionals and the training, including permanent training, of professionals are fundamental; these aspects must incorporate the elements of green transition in traditional disciplines and knowledge and their path of constant innovation. In this field, both methodologies and implementation techniques for reducing and mitigating impacts on the ecosystem and biodiversity as well as information and communication tools for their more effective understanding by specialised and non-specialised audiences need to be explored. Coordinating the theoretical and applied knowledge framework can become discriminating for the correct approach to the urban space regeneration project.<sup>1</sup>

Designing greenery in our cities becomes an opportunity to redesign the 'apparently static' landscape of the urban fabric and bring it closer to the 'living and dynamic' landscape of the plant world (Perini, 2013). The architecture of greenery in the urban space acquires a renewed leading role in the spectacle of the four acts of nature that take place during the seasons (Pizzetti, 2006). The presence and quality of green spaces in cities are at the centre of the urban planning policies of many public administrations. Initiatives aim to recover spaces in densely built-up areas or to reorganise green fragments already

present within the stratified fabric (Viganò, 2020). The aim of introducing ecosystem services and applying strategies of so-called 'urban microsurgery' is being realised in numerous projects of interdisciplinary nature (Charbonneau, 2019).

The testimony of a series of representative cases realised in a national and international context is only the starting point to highlight the importance and the role of the ecological systems used in areas destined for public use in those operations of change and development of the cities. The use of alphanumeric and geometric information modelling is explored here to set up a plurality of interactive environments to support training for the project; within these places, it is possible to operate by filtering the themes through multiple reading keys such as the criticalities that need to be addressed, the context of intervention, the criteria and constraints of the project, the standards and expedients adopted in best practices.

On other occasions of scientific comparison, the first in-depth studies were discussed regarding the constitution of a graphic abacus relative to design interventions on the city, a repertoire of solutions-actions-strategies for regeneration oriented to the planning and designing of urban resilience (Garzino et alii, 2021). On this occasion, the development of the educational component of the tool is illustrated, declined down to the specific theme of greenery; the European Council has paid specific attention to the theme of Heritage Education. In particular, the Recommendation of the Committee of Ministers to the Member States Concerning Heritage Education (Council of Europe, 1998) underlined how Cultural Heritage includes every material and immaterial trace of human action and recommended a Heritage-based pedagogy including active teaching methods, cross-curricular proposals, partnerships between the educational and cultural sectors, the use of the widest variety of ways of communicating knowledge.

This contribution follows the path of active education through dissemination and its methods that provide for diversified interaction for each user profile, and that also lend themselves to the implementation of content by accredited subjects, according to standard interaction protocols. A fundamental part of the dissemination of the results obtained is represented by the preparation of interactive educational and scientific materials. The first release of the prototype currently published on the extranet<sup>2</sup> will be accessible online in October 2022. Integrated tools for the classification of nature-based interventions and their organisation within an information system are proposed here.

Central themes are interoperability between information modelling environments, data organisation in relational databases and web interfaces for querying and consulting information. The differentiation of user-profiles allows the enrichment of structured information; the possibility to search and also to complete, and insert new elements by specifically accredited users characterises, in fact, the repertory as an open knowledge system. In the following paragraphs, the objectives and methodology of the work, the phases and processing environments that make up the repository, some specific applications and their discussion, and finally, conclusions and possible developments will be illustrated.

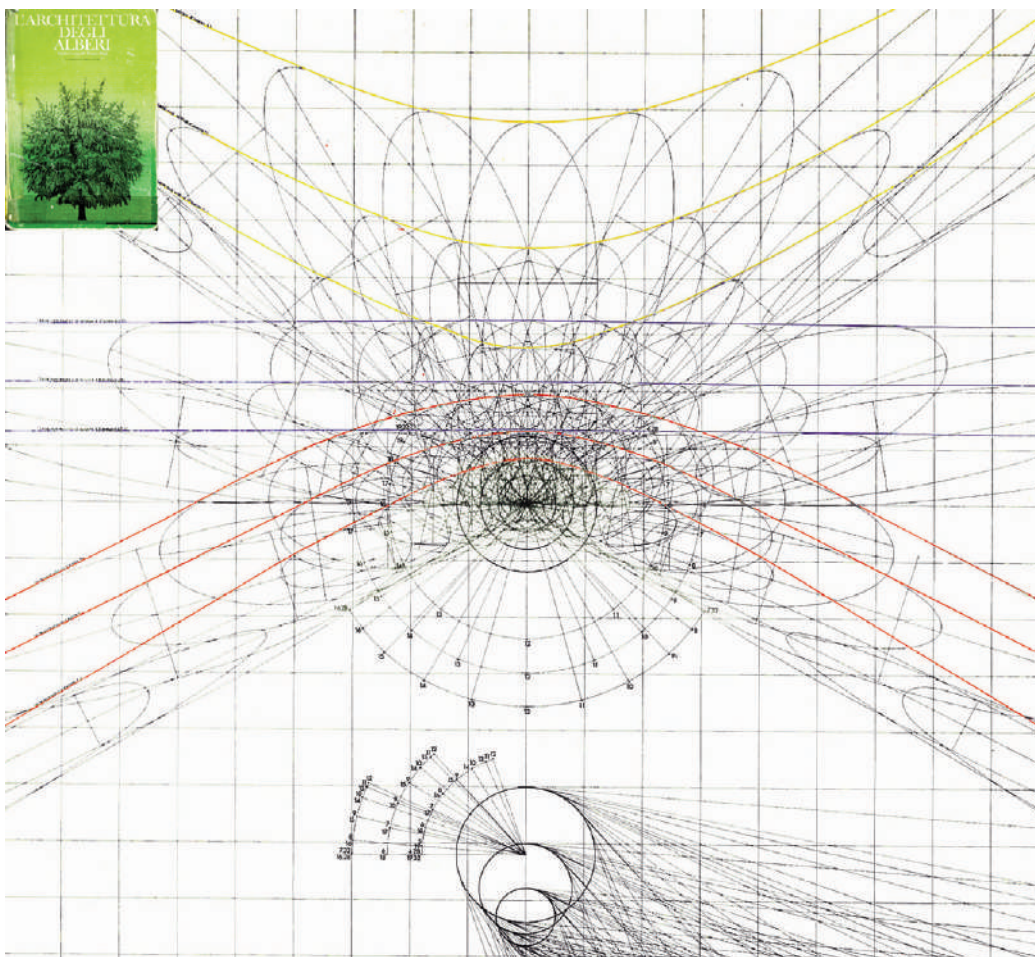
### Objectives and methodological approach |

The objective of the research is the elaboration of guidelines for the identification of possible interventions – direct, essentially related to the survey and urban representation, urban planning techniques and technical architecture, and indirect, administrative and planning – to be included in the instrumentation for the implementation of redevelopment plans that aim to incorporate the qualities of nature (Nature-based Solutions – NbSs)<sup>3</sup>. The research work organises and proposes multiple solutions within a dynamic consultation environment; the database draws on the reading of numerous interventions distributed around the globe and is interconnected with digital models that share and hybridise knowledge and new requirements through the common language of graphic representation. The result proposes the design of an open and implementable number of operational solutions to critical environmental and social issues, characterised by significant attributes that methodologically circumscribe their field of application; this defined set of proposals should favour the conscious selection of those considered suitable for inclusion in the various aspects of project study with a desirable impact on the scientific and professional community.<sup>4</sup>

The methodological path identifies ways and tools useful for the determination of strategies and principles in the field of urban and architectural design, paying particular attention to the use of natural elements as integrating, collaborating or resolving determinants. The data collected and the reflections that are generated through the reading of synoptic frameworks, collected within a geodatabase, are proposed as a basis for the construction of an operational graphic abacus concerning the regeneration of the contemporary city. The project repertoire and the solutions map, open to the interpretation and contribution of different skills, can become knowledge and orientation tools to develop ecological environments capable of dealing with different agents, reducing their vulnerability and responding in a targeted manner to risks. The information system constitutes a sharing ground and support tool for scholars, professionals and public administrators, offering a range of possible solutions appropriately classified and described by means of dynamic, three-dimensional and parameterised graphic apparatuses that aim to support the quality of the project and encourage a climate of well-being and coexistence among citizens.<sup>5</sup>

### Research phases, interoperable processing environments and training products |

There are different system processing environments and different places of interaction. Local databases linked to distributed databases, cards of different formats (static and hypertextual), dynamic mapping and relief maps, and parameterized urban scenes work together to build the overall knowledge picture. The interoperability of the technologies adopted makes it possible to generate integrated data systems that produce and receive information within a coherent methodological framework: taxonomies, graphic glossaries, and parameters delimit and order the universe of information resources that can be drawn upon (Fig. 1). The environments set up are described below.



**Fig. 7** | 'Delonix Regia Raf. Flamboyant' (fam. Papilionaceae), vernacular name 'Flamboyant tree', seasonal colours, original scale 1:500, tree mass at full maturity (source: Leonardi and Stagi, 1983).

**Fig. 8** | 'Delonix Regia Raf. Flamboyant' (fam. Papilionaceae), common name 'Flamboyant tree', drawing with leaves and bare, original scale 1:100 (source: Leonardi and Stagi, 1983).

**Fig. 9** | 'Delonix Regia Raf. Flamboyant' (fam. Papilionaceae), common name 'Flamboyant tree', detail of leaves, fruits and flowers, original scale 1:4 (source: Leonardi and Stagi, 1983).

**Fig. 10** | Shadow diagram of a tree assimilated to a sphere, diameter varying from 10 to 20 to 25 metres at solstices and equinoxes, Rome 41° 55' north latitude (source: Leonardi and Stagi, 1983).

Directory of Projects and Graphics Assets. In the first of these environments, actions are first of all collected and critically proposed in contexts of redevelopment and regeneration at different operational scales in representative urban areas; the types of intervention are classified and brought together in hypertext cards that illustrate the different solutions through a composite and collaborative apparatus of graphic representations. The 'green solutions' collected respond positively to various phenomena. The opportunity to refer to a wide range of real-life applications (cf. mapping of the projects listed, Fig. 1, top right) is linked to the need to verify and measure the effect of the various actions in practice. In this sense, the matrix returns benefits where possible if found in practice, otherwise, they are deduced from theoretical aspects linked to biology and physiology, as well as qualitative perceptive aspects.

Often the positive effect declared by different interventions is of an 'a priori' and non-quantitative nature, and it is not always possible to analytically measure the contribution of different solutions, particularly when what needs to be measured is the psychophysical wellbeing of individuals. Environmental and architectural psychology offers a valid aid in this sense through psychometrics, placing side by side objective evaluations (as we might consider environmental impact assessment or incidence assessment) and subjective evaluations (among all the post-occupational evaluations, that are from the point of view of the people who occupy and use the environments), appropriately integrated among them (Hadjri and Crozier, 2009). The environment is organised in an online relational database. From this list, descriptive hypertext cards are produced, which are associated with the automatic geo-referencing of projects, again in an online searchable environment.

Abacus of Solutions and Action Sheets. The handbook of possible solutions constitutes another environment of collection and interaction, the Abacus of Solutions is intended to be a matrix of ideal, adaptable and applicable proposals. The urban system and the phenomena to which it is exposed are traced back to intervention typologies through the construction and representation of actions and case studies. The graphic codes are also investigated within the abacus with the aim of relating the criteria of systemic evaluation to specific reactions that can be undertaken, supported by parametric information models. The cataloguing and classifying of the possible redevelopment solutions take place by utilising a multiple-entry matrix of solutions which has for the elements/rows the different types of intervention and for columns the main properties of every single solution: the possible instruments for implementation (planning and regulatory instruments); the possible actors involved in the intervention; the timing of implementation (short, medium and long term); the regulatory references; the general assessment of the possible direct, indirect and induced benefits that may derive from the implementation of the intervention (environmental, landscape, social); and the main parameters for estimating the economic cost.

Each criticality/phenomenon (input, data input for the use of the matrix) has been associated with a certain number of cards (output, data

output from the matrix) compatible with the criticality and applicable with different benefits and different economic costs. For each element/line of the matrix, technical intervention sheets are provided which identify a well-defined set of technical-specialist information to support the activities of the subjects directly responsible for intervention in the area; at a later stage, it will be necessary to envisage the means and operational and procedural processes to form the system of competences and to allow for prior verification of the environmental repercussions connected with the territorial and environmental programming and planning choices.

In addition to summarising the data contained in the general matrix, the sheets contain in-depth thematic information (promoters and implementers, approval procedures, necessary authorisations, documentation to be produced, compatibility with current legislation and planning instruments and restrictions) together with explanatory diagrams (urban plans, elevations and sections, volume plans and building exploded views, comparisons between the current state of affairs and preliminary project designs). The intervention sheets constitute the technical basis of the guidelines for the identification of direct and indirect interventions; one of the applicative contributions of the research also relates to the normative and regulatory level and is made explicit through the proposal of supplementary provisions of the technical implementation rules of the municipal General Regulatory Plans, the hygiene and building regulations and the municipal police regulations.

BIM-GIS Scenes – Families of Urban Masses and Elements of Public Space Design and Furnishing. The abacus and the intervention sheets are associated with information models, building masses, roofs, elements for integrating public space and street furniture that can be parameterised according to the intervention hypotheses; this makes it possible to prefigure alternative scenarios and to compare them with respect to the different characteristics considered in the solutions matrix. The extraction of the parametric data associated with the information model can subsequently interoperate in different computer environments for the calculation of the pressure factors in the urban scene set-up: geospatial analyses, levels for two- and three-dimensional raster analyses, climatic and environmental simulations. The scenarios prepared represent a useful tool to support the planner and the researcher in that they allow the interchange of elements of the model, measuring their relative potential effectiveness. Obviously, these are tools for preliminary design studies that affect the efficiency of the process, but they need constant updating and skills that know how to discern from the solutions that can be automatically extracted.

Ambito Torinese Applications – Thematic Photographic Survey. Finally, an application environment is represented by support tools for urban survey ‘in the field’; web interfaces are active for the collection and organisation of photographic images, classified and georeferenced on thematic cartography. The prototype allows multiple inputs for interrogation and interchange between different environments. For example, it is possible to filter the repertory of projects or the abacus of solutions by keywords, just as it is possible to se-

lect the thematic classes set for the field survey.

Repertoire, Abacus, Scenes and Survey are interrelated environments through the headings ‘risk’ and ‘phenomenon’ (Fig. 2); the proposals and guidelines are derived from an in-progress review of international level interventions that generally concern the different declinations of the theme of urban resilience. Taxonomy has been defined on the basis of the existing literature on Risk and Phenomenon, understood as the main threat of anthropogenic or natural nature (risk) and the specific expression of the threat (phenomenon). Hazard, exposure and vulnerability are univocally defined in the literature (Costa and Kropp, 2013) and apply due to the characteristics of different parameters, in particular related to the number and distribution of the population and the type of structures and infrastructures that can be affected by the different phenomena. The following considerations illustrate study approaches related to the constitution of a handbook of application possibilities.

#### **Discussion of the results: from the analysis of the case studies to the generation of the models of the abacus of actions**

As already mentioned, the attention to public and private spaces is nowadays of fundamental value since it represents the conception of new urban planning that sees in the design of green areas an infrastructure that will allow us to find a new balance within the built city (Perini, 2013). The design of urban spaces is defining a new relationship between built and natural structure (Comino, Molari and Dominici, 2021): a gentle invasion of greenery into the urban grid (Zaffi and D’Ostuni, 2020). The greenery approach that is therefore redefining the balance of the urban image (Bellini and Mocchi, 2017) is characterised by some distinctive features, which characterise it within the spaces that host it: it can be found on the ground, or it can be placed high up, offering visual openings on the surroundings, guaranteeing different types of fruition, depending on their location, defining a boundary between the domestic and the public environment. The green area is therefore inserted into the urban scene through the adoption of traditional and/or innovative technological solutions, which can be catalogued and analysed following different types of interpretative hierarchies (Fig. 3).

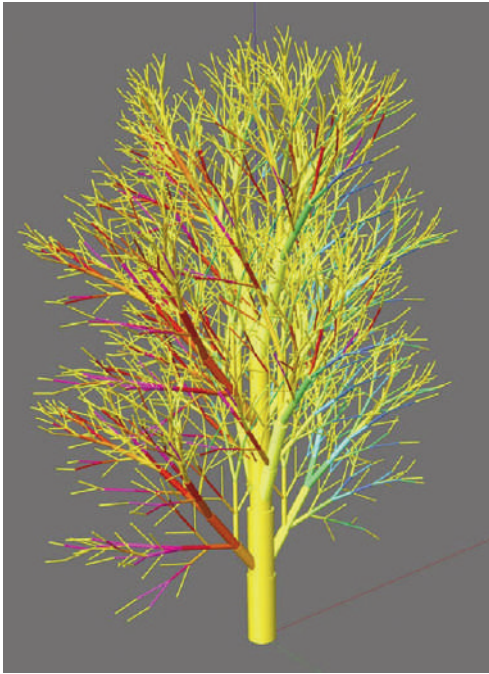
Through the exploration and analysis of numerous national and international experiences (Project Directory), the importance and role of greenery are highlighted: synthesis and comparison frameworks are created from which models are generated that populate the abacus of solutions applicable in different urban contexts (Fig. 4). In the literature, it is possible to find numerous testimonies on the positive contribution linked to the introduction and use of greenery in consolidated urban environments (Yu et alii, 2016): increased air purification (Nowak, 2006), reduction of the percentage of greenhouse gases (Nowak and Crane, 2002), water purification and wind filtration (Chiesura, 2004), noise reduction related to the presence of green roofs and facades (Veisten et alii, 2012), and mitigation of the heat island effect due to the presence of trees (De Capua and Errante, 2019), are only a few areas in which best practices were identified from which the abacus models were generated.

As mentioned in the previous paragraphs, the data collected from the exploration of the case studies and the reflections generated through the reading of the exploratory frameworks are proposed as a preliminary basis for the construction of an operational map for the urban regeneration of the contemporary city, through the adoption of actions based on the use of green in all its forms. The abacus is conceived as a consultation and orientation tool to develop a resilient design, responding in a targeted way to risk through its application in a specific place. The models that make up the abacus are subdivided according to the scale of intervention – from the large scale (regional parks, buffer strips and greenways) to the inter-urban scale (greenways, inter-municipal parks) to the urban and micro-urban scale (parks, urban gardens, green squares, urban forests, etc.) to the building scale (green walls, roof gardens, green courtyards, bioclimatic greenhouses, etc.) – represent a selection of good practices from which to learn design methods and intentions that have already been applied and assessed as ecologically successful (Fig. 5).

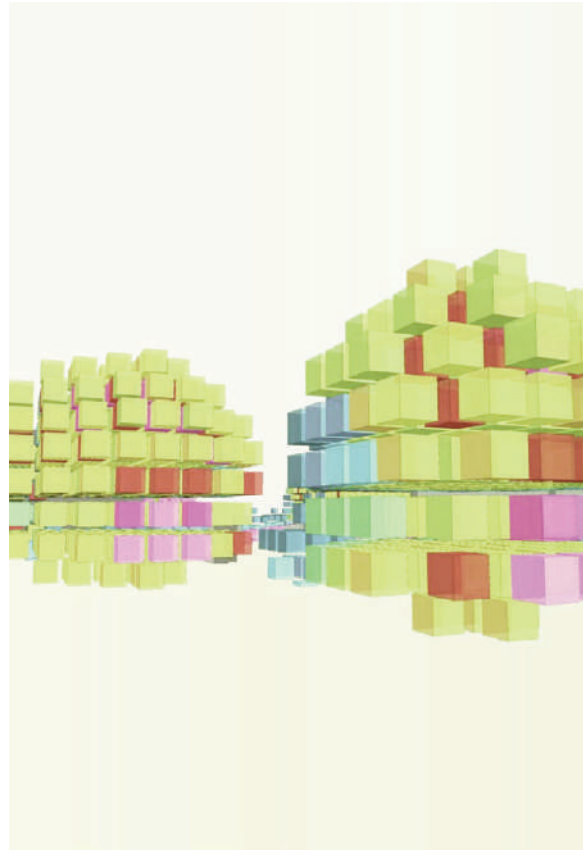
One of the most evident results of the research carried out during the mapping and analysis phases of the projects carried out was how the role of greenery has changed over the years: nature is no longer perceived solely as a backdrop for architecture but has become a real construction material (Bellini and Daglio, 2009), used as a valid solution to the environmental discomfort caused by pollution in urban spaces (Bellomo, 2009), aimed at improving the quality and perception of individuals’ living comfort (Garzino et alii, 2021). Thermal well-being, for example, is mainly based on the control of solar radiation, thermal radiation and wind, and these parameters can be influenced and regulated by operating on some categories of agents, among which one of the main ones is the correct use of vegetation elements within the urban context, through the optimal orientation, location, management of the geometric and typological characteristics of the element (permeability, seasonality, development speed). The green area becomes the main protagonist of some mitigation or adaptation actions, and it is therefore fundamental to be able to describe it as a single element within the abacus, representing the elementary unit through which, by customising the parameters that characterise it, it becomes a component of support for the actors involved in the decision-making phases of the mitigation and/or adaptation actions applicable to the urban context in which they are operating.

Among the proposals for cataloguing and classifying vegetation elements, we remember which was presented by G. Garzino (2010), where the two-dimensional representation of the green is associated with parameters such as the type of plant (to row, to spot, etc.), the shape (a circumference to represent whether the bearing is more rounded, an oval if the shape is fastigiate, columnar or ovoidal, a triangle if the bearing is conical or pyramidal) and the size class of the elements, associated with the strokes with which the inscribed figures are drawn, the more or less dense field to express high compactness, the more or less clear colour to define the level of permeability. From here, it is clear that the choice of the type of green to be used in adaptation and/or mitigation projects is

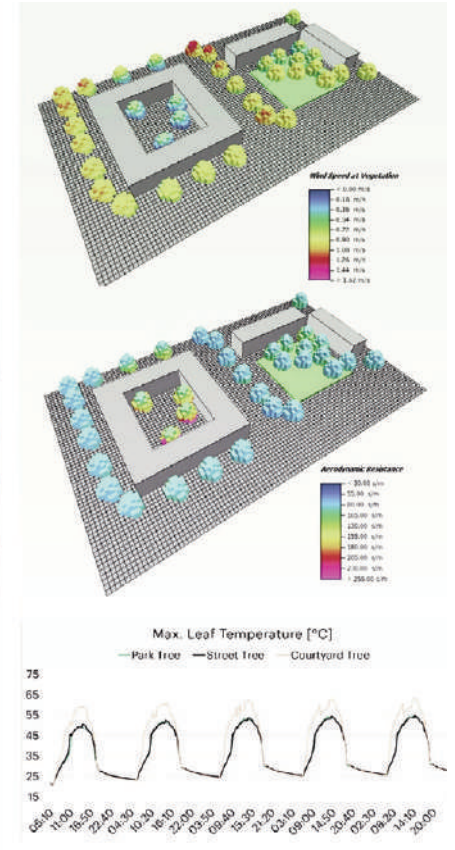




**Fig. 11** | Trees and trees: TreePass (ENVI-met module) growth and biomechanics, risk of uprooting or breakage (source: envi-met.com).



**Fig. 12** | Trees and masting: simulation of environmental conditions (3D raster analysis) shading, evapotranspiration, phytosanitary needs (source: envi-met.com).



fundamental, and how to make the correct choice of vegetation elements to be used is an integral part of the design choices and closely related to the formal, functional and aesthetic characteristics of the elements (Fig. 6).

Starting from the definition of the parameters that characterise the vegetation elements, the different types of trees have been modelled, which, once placed within the models, allow professionals/scholars to evaluate the benefits and interferences that can arise from the use of different tree species. The trees have been modelled taking into account not only the development of the topsoil, therefore the trunk and crown, but also underground, that is, the development of the roots, in order to evaluate possible interferences (in altitude and the subsoil) and the shading of the tree on the surrounding elements.

**Conclusions and possible developments** | The proposed research develops and applies a methodology of analysis and representation aimed at the preparation of a graphic abacus of urban and building design solutions that respond to new emergencies, with particular attention to environmental aspects, to the vulnerability of the territories linked to climate change and the enhancement and safety of the anthropic and natural heritage. The aim is to spread a new culture of project data that places green areas and transition at the centre of the various effects. There are two main elements of interest: the use of information modelling processes for the graphic schematisation and numerical and qualitative simulation of solutions with natural elements and associated representation codes; the integration of methods and technologies to set up a shared 'virtual piazza' in the form of a geographic abacus, which can be interrogated and implemented.

The information system set-up includes analysis and critical reading of national and international research and design outcomes and best practices in the professional field, rendered through a synoptic framework that crosses the problems of built environments with 'green' intervention typologies (current practices and state of art); interoperability of the information modelling components with spatial and alphanumeric interrogation within cognitive schemes operating online; methodological indications to open the ongoing construction of the abacus to scholars and professionals; structuring of navigation paths through thematic filters (criticalities, intervention typologies and alternative solutions).

The Directory of Projects and the Abacus of Solutions (integrated with the Urban Scenes) aims to qualify as an open system of knowledge, agile tools able to provide relevant information, and methodological and instrumental apparatuses and graphic languages for analysis and design. Repertory and the Abacus are adaptable to the needs of the users; they provide readings and welcome appropriately structured and meta-documented visions; they can allow exports, in the form of datasheets, through keywords or spatial queries, and are arranged to be fed through specific protocols and procedures. The main critical points that have emerged concern representation techniques and graphic codes that need to be standardised to provide a homogeneous and consistent handbook. The graphic language is an essential theme in the transmission of knowledge and technical communication, which is also addressed to a public that has not yet been trained on design themes: the clarity of the illustrative section can make the learning and permanence processes more effective.

In their encyclopaedic volume *L'Architettura*

degli Alberi, Cesare Leonardi and Franca Stagi (1983, p. 13) recall that the choice of project (the use, the sense of space) will guide the answer in a research process that knows how to take into account the hours, the seasons, the size, the number and the distance of the trees and in which the computer is the necessary ally of the designer for a new rational invention of the structure and design of green areas. Systematising knowledge, such as that of Leonardi and Stagi, clarifies that it is necessary to enrich existing heritages in terms of dissemination and re-use them so that they can propagate their effects and update themselves and reach wider audiences more effectively (Fig. 7-12). The knowledge that should not be dispersed, on which to graft 'new knowledge' in continuity through 'new ways' of relating to information and 'new skills', up to the recent experiences in the field of artificial intelligence applied to urban regeneration. In addition to the more excellent articulation, the constant enrichment of the repertoire of solutions and exemplifications and the application of uniform graphic signs and symbols, the very theme of the application of artificial intelligence may represent development and a further impetus that must be considered in order to complete the information system that is being set up.

## Acknowledgements

The authors would like to thank the Fondazione Sviluppo e Crescita CRT (and its President Cristina Giovando), Urban and Social Regeneration Group, for funding part of the research (Project Manager: B. Viarizzo; Project Coordinator: A. Rabbia; Scientific Coordinator: M. M. Bocconcino of the Politecnico di Torino). The Group's work is also applied within the Italian National Committee for Social Housing whose webpage is available at [cn-housingsociale.it](http://cn-housingsociale.it) [Accessed 09 April 2022].

The contribution is the result of a common reflection of the Authors; the introductory paragraphs, 'Objectives and Methodological Approach', 'Research Phases, Interoperable Processing Environments and Training Products' and 'Conclusions' are attributed to M. M. Bocconcino and the paragraph 'Discussion of Results: from Case Study Analysis to the Generation of Action Abacus Models' to M. Vozzola. We also thank the engineers F. El Azrak, A. Lifonso, P. Lofano, S. Pappalardo and S. Siccardi for their active contribution to the compilation of the project database.

## Notes

1) In this regard, we highlight the European Research and Innovation Project CONEXUS, which promotes the knowledge, use and dissemination of Nature-based Solutions to restore natural ecosystems and improve the quality of life in cities. Conexus has three sister projects working on Nature-based Solutions under the European Union's Horizon 2020 Europe Programme: Interlace, Regreen and Clearing House. For more information on these projects, see the webpages: [conexusnbs.com](http://conexusnbs.com); [interlace-project.eu/](http://interlace-project.eu/); [regreen-project.eu/](http://regreen-project.eu/); [clearinghouseproject.eu/](http://clearinghouseproject.eu/) [Accessed 09 April 2022].

2) More information can be found at: [mmb-polito.info/abacograficoresilienza](http://mmb-polito.info/abacograficoresilienza) [Accessed 09 April 2022].

3) Some considerations are the development of a research work – carried out between Politecnico di Torino, Provincia di Torino and Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Piemonte – entitled 'Linee Guida per l'individuazione degli interventi indiretti di tipo amministrativo-pianificatorio e diretti riconducibili alla tecnica urbanistica per i Piani di Risanamento Acustico Comunale' (Responsible: P. Novello; Coordinator: M. M. Bocconcino; Research Group: G. Moglia, M. Masoero, R. Mancini and M. Vitali).

4) In particular, the tools provided are the basis for some experiences within the Master entitled Methods and Techniques for Governing Resilient Cities – Towards Integrated Risk Management, promoted by the Interdepartmental Centre of the Politecnico di Torino R3C – Responsible, Risk, Resilience Centre, addressed to public administrators and professional engineers and architects. The progress of the work is constantly discussed in publications in relevant scientific journals and at national and international conferences and in particular, on an annual basis starting in 2019, at Urbanpromo Progetti per il Paese e Social Housing, a congress promoted by the Istituto Nazionale di Urbanistica (INU). Some activities are carried out in collaboration with an editorial group which has been active for a long time in the field of education and training for secondary schools and is interested in the effectiveness of teaching methods and support tools, as well as in the measurement and permanence of learning focused on method and high-profile knowledge in the field of sustainability.

5) The theme of urban surveying has been at the heart of the activities of the Department of Structural, Building and Geotechnical Engineering (formerly the Institute of Technical Architecture and later the Department of Engineering of Building and Territorial Systems) of the Politecnico di Torino, ever since the first studies on the city, which resulted in the 7310:1974 standard, initiated by Professor A. Cavallari Murat and continued by Professor A. Cavallari Murat and continued by Professors D. Coppo and P. Novello. The contribution is

part of more comprehensive research on the study and representation of urban and environmental quality coordinated by G. Garzino and M. M. Bocconcino (Garzino et alii, 2021).

## References

Bellini, O. E. and Daglio, L. (2015), *Il verde tecnologico nell'housing sociale*, FrancoAngeli, Milano.

Bellini, O. E. and Daglio, L. (2009), *Verde verticale – Aspetti figurativi, ragioni funzionali e soluzioni tecniche nella realizzazione di living walls e green façades*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN).

Bellini, O. E. and Mocchi, M. (2017), "Paesaggi Urbani in quota – Il Verde come Culto Contemporaneo | Urban Green Landscapes – The Green as Contemporary Cult", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 2, pp. 95-100. [Online] Available at: [doi.org/10.19229/2464-9309/2132017](https://doi.org/10.19229/2464-9309/2132017) [Accessed 09 April 2022].

Bellomo, A. (2009), *Pareti verdi – Nuove tecniche*, Sistemi Editoriali, Casoria (NA).

Charbonneau, J.-P. (2019), "Spazio pubblico come motore di trasformazione urbana e sociale", in *L'Industria delle Costruzioni*, n. 467, pp. 6-11.

Chiesura, A. (2004), "The role of urban parks for the sustainable city", in *Landscape and Urban Planning*, vol. 68, issue 1, pp. 129-138. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.08.003](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.08.003) [Accessed 23 April 2022].

Comino, E., Molari, M. and Dominici, L. (2021), "La città che invita la natura – Progettare in collaborazione con il verde verticale | City that embraces nature – Designing with vertical greenery", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 9, pp. 112-123. [Online] Available at: [doi.org/10.19229/2464-9309/9112021](https://doi.org/10.19229/2464-9309/9112021) [Accessed 09 April 2022].

Costa, L. and Kropp, J. P. (2013), "Linking components of vulnerability in theoretic frameworks and case studies", in *Sustainable Science*, vol. 8, pp. 1-9. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/s11625-012-0158-4](https://doi.org/10.1007/s11625-012-0158-4) [Accessed 23 April 2022].

Council of Europe (1998), *Recommendation of the Committee of Ministers to Member States Concerning Heritage Education*, n. R (98) 5. [Online] Available at: [rm.coe.int/09000016804f1ca1](http://rm.coe.int/09000016804f1ca1) [Accessed 23 April 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](https://doi.org/10.19229/2464-9309/6142019) [Accessed 09 April 2022].

Garsia, L. (2015), *Abitare la rigenerazione urbana – La misura della città e della casa nel XXI secolo*, Gange-mi editore, Roma.

Garzino, G. (2010), "Il rilievo del comfort per gli spazi urbani – Prime riflessioni per analisi speditive", in Coppo, D. and Boido, C. (eds), *Rilievo Urbano – Conoscenza e rappresentazione della città consolidata*, Alinea, Firenze, pp. 172-187.

Garzino, G., Bocconcino, M., Vozzola, M. and Mazzone, G. (2021), "Dalla rappresentazione della vulnerabilità urbana – Il disegno di abachi grafici per il progetto | From the representation of urban vulnerability – The design of graphic abacuses for the project", in *Disegno*, n. 8, pp. 221-232. [Online] Available at: [disegno.unioneitaliana.it/index.php/disegno/article/view/264](http://disegno.unioneitaliana.it/index.php/disegno/article/view/264) [Accessed 09 April 2022].

Hadjri, K. and Crozier, C. (2009), "Post-occupancy evaluation – Purpose, benefits and barriers", in *Facilities*, vol. 27, n. 1/2, pp. 21-33. [Online] Available at: [doi.org/10.1108/02632770910923063](https://doi.org/10.1108/02632770910923063) [Accessed 23 April 2022].

Larrère, C., Larrère, R. and Bouleau, R. (2016), "Les transitions écologiques à Cerisy", in *Natures Sciences Sociétés*, vol. 24, pp. 242-250. [Online] Available at: [Cairn.info/revue-natures-sciences-societes-2016-3-page-242.htm](http:// Cairn.info/revue-natures-sciences-societes-2016-3-page-242.htm) [Accessed 23 April 2022].

Leonardi, C. and Stagi, F. (1983), *L'Architettura degli Alberi*, Gabriele Mazzotta Editore.

Nowak, D. J. (2006), "Institutionalizing urban forestry as a 'biotechnology' to improve environmental quality", in *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 5, issue 2, pp. 93-100. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.ufug.2006.04.002](https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.04.002) [Accessed 09 April 2022].

Nowak, D. J. and Crane, D. E. (2002), "Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA", in *Environmental Pollution*, vol. 116, issue 3, pp. 381-389. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00214-7) [Accessed 09 April 2022].

Perini, K. (2013), *Progettare il verde in città – Una strategia per l'architettura sostenibile*, FrancoAngeli, Milano.

Pizzetti, I. (2006), *Naturale inclinazione*, Federico Motta Editore, Milano.

Veisten, K., Smyrnova, Y., Klæboe, R., Hornikx, M., Mosslemi, M. and Kang, J. (2012), "Valuation of green walls and green roofs as soundscape measures – Including monetised amenity values together with noise-attenuation values in a cost-benefit analysis of a green wall affecting courtyards", in *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 9 issue 11, pp. 3770-3788. [Online] Available at: [doi.org/10.3390/ijerph9113770](https://doi.org/10.3390/ijerph9113770) [Accessed 09 April 2022].

Viganò, P. (2020), "Abitare paesi, città e metropoli orizzontali", in *L'Industria delle Costruzioni*, n. 472, pp. 4-11.

Wong, T. and Brown, R. R. (2008), "Transitioning to Water Sensitive Cities – Ensuring Resilience through a New Hydro-Social Contract", in Ashley, R. (ed.), *11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK*, Iwa Publishing (CD Rom). [Online] Available at: [semanticscholar.org/paper/Transitioning-to-Water-Sensitive-Cities%3A-Historical-Brown-Keath/1ab8b49029ed54efc4e42c5a74d51b88624f02ff#paper-header](https://www.semanticscholar.org/paper/Transitioning-to-Water-Sensitive-Cities%3A-Historical-Brown-Keath/1ab8b49029ed54efc4e42c5a74d51b88624f02ff#paper-header) [Accessed 23 April 2022].

Yu, S., Yu, B., Song, W., Wu, B., Zhou, J., Huang, Y., Wu, J., Zhao, F. and Mao, W. (2016), "View-based greenery – A three-dimensional assessment of city buildings' green visibility using Floor Green View Index", in *Landscape and Urban Planning*, vol. 152, pp. 13-26. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.04.004](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.04.004) [Accessed 09 April 2022].

Zaffi, L. and D'Ostuni, M. (2020), "Città metaboliche del futuro – Fra Agricoltura e Architettura | Metabolic cities of the future – Between Agriculture and Architecture", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 8, pp. 82-93. [Online] Available at: [doi.org/10.19229/2464-9309/882020](https://doi.org/10.19229/2464-9309/882020) [Accessed 09 April 2022].

## RINVERDIRE I CENTRI STORICI

Il ruolo dello spazio privato  
nell'infrastruttura verde di Milano

## RENATURING HISTORICAL CENTRES

The role of private space  
in Milan's green infrastructure

Julia Nerantzia Tzortzi, Maria Stella Lux

### ABSTRACT

La simbiosi tra la vegetazione e l'ambiente costruito nel contesto della città storica pone problemi e sfide che necessitano un approccio multidisciplinare. Oggi le strategie di infrastrutture verdi a scala urbana escludono i centri storici, in cui densità, vincoli di tutela e complessità morfologiche rendono impossibile l'applicazione di processi di rinverdimento standardizzati ed esclusivamente incentrati sullo spazio pubblico. Questa ricerca vuole fornire una valutazione delle soluzioni più compatibili con le aree storiche e una metodologia per sviluppare strategie verdi rispettose delle peculiarità culturali di ciascun contesto, conciliando gli obiettivi di rigenerazione con quelli di valorizzazione del patrimonio culturale. Attraverso l'approfondimento del caso studio di Milano, si discute il potenziale ecologico offerto dagli spazi privati.

The symbiosis between vegetation and the built environment in the context of the historic city poses questions and challenges that require a multidisciplinary approach. Today, Urban Green Infrastructure strategies exclude historic centres, where density, preservation constraints, and morphological complexities make it infeasible to apply standardized greening processes focused exclusively on public space. This study aims to provide an assessment of the solutions that are most compatible with historical areas and a methodology to develop green strategies that respect the cultural peculiarities of each context, reconciling the objectives of regeneration with those of cultural heritage enhancement. The ecological potential offered by private spaces is discussed based on the in-depth analysis of the case study focusing on the city of Milan.

### KEYWORDS

soluzioni basate sulla natura, paesaggio storico urbano, spazio privato, pianificazione strategica, benefici ecosistema urbano

nature-based solutions, historic urban landscape, private space, strategic planning, urban ecosystem benefits

**Julia Nerantzia Tzortzi**, PhD and Landscape Architect, is an Associate Professor at the Department of Architecture, Built Environment and Construction Engineering, Politecnico di Milano (Italy). Fellow of the Landscape Institute (UK) and Member of AIAPP, her research focuses on landscape architecture, sustainable design and Nature-based Solutions in the urban context. Mob. +39 327/32.07.339 | E-mail: julia.georgi@polimi.it

**Maria Stella Lux** is a PhD Candidate at Politecnico di Milano (Italy) and an ordinary Member of AIAPP. Her research is focused on green solutions for historical contexts. Mob. +39 340/13.74.593 | E-mail: mariastella.lux@polimi.it

Negli ultimi decenni, crisi continue e generalizzate appaiono sempre più spesso legate all'impatto dell'attività umana sul funzionamento ecosistemico dell'ambiente naturale e l'incessante crescita dei processi di urbanizzazione ne è al contempo causa e sintomo. Le proiezioni sulla crescita attesa della popolazione urbana e uno scenario futuro governato dal cambiamento climatico prospettano una rapida diminuzione della qualità della vita nelle città, in cui già oggi si concentra oltre metà della popolazione globale (UN, 2019). In aggiunta, l'impronta ecologica sproporzionata delle aree urbane e l'inadeguatezza dell'ambiente antropizzato a rispondere a scenari di rischio crescenti ha fatto sì che le città siano da tempo oggetto di ricerca per individuare percorsi di sviluppo sostenibile. Al centro delle strategie di adattamento urbano, il tema di una re-integrazione della natura è sempre più in primo piano (Frantzeskaki et alii, 2019): l'ambiente artificiale ha infatti mostrato chiaramente i suoi limiti e presenta una rigidità che risulta incapace di fornire risposte flessibili al rapido mutamento delle condizioni circostanti; la natura invece è caratterizzata da una capacità intrinseca di adattamento che sembra essere la chiave per aumentare la resilienza delle città (Andersson et alii, 2014).

Occorre prestare una particolare attenzione ai nuclei storici, la cui vulnerabilità è ulteriormente accresciuta da una complessa serie di motivazioni culturali, sociali e ambientali. In essi si concentra larga parte del patrimonio culturale urbano, aumentando così il valore esposto nel calcolo del rischio. Inoltre la popolazione dei grandi centri urbani invecchia più velocemente rispetto alle aree non metropolitane (OECD, 2015) e la densità urbana si è rivelata problematica anche a fronte della diffusione di nuove malattie, com'è nel caso della pandemia da Covid-19; infine, questi contesti sono più esposti a effetti collaterali come l'isola di calore urbano e le onde di calore (Manoli et alii, 2019).

Storicamente il rapporto tra città e natura ha sempre garantito un equilibrio tra l'ambiente antropizzato e quello naturale mentre a partire dalla Rivoluzione Industriale tale equilibrio si è progressivamente deteriorato, di conseguenza oggi i nuclei storici sono le aree urbane strutturalmente più carenti di spazi verdi e dove è più complesso pensare a un reinserimento di componenti naturali. La struttura compatta della città storica e i numerosi vincoli di conservazione del patrimonio risultano scarsamente compatibili con le soluzioni verdi più comuni, come corridoi verdi e nuovi parchi, anche a causa della mancanza di spazio pubblico trasformabile (Haaland and van den Bosch, 2015). Il processo di rinaturalizzazione richiede un approccio estremamente 'site-specific', oneroso in termini di risorse, tempo e costi; si impone pertanto la necessità di una pianificazione delle infrastrutture verdi che metta a sistema gli obiettivi urbani con la morfologia del contesto storico.

In quest'ottica il presente articolo discute i limiti delle strategie di resilienza e rinaturalizzazione attualmente adottati in diverse città europee, evidenziandone la scarsa applicabilità nei contesti storici e propone un approccio complementare, sviluppato per il caso studio di Milano, per garantire una migliore integrazione tra infrastrutture verdi e patrimonio culturale urbano. In particolare, si propone come chiave di volta del problema tratta-

to la riconnessione del moderno concetto di verde infrastrutturale con la radice storica del rapporto tra città e natura. La ricostruzione dello stato dell'arte, illustrata nel paragrafo che segue, è il punto di partenza per identificare le aree disciplinari coinvolte nel tema e l'importante lacuna riguardante l'integrazione di approcci eterogenei: l'adattamento delle strutture urbane e del patrimonio culturale ai cambiamenti climatici infatti è un ambito di convergenza tra la pianificazione strategica, la conservazione e valorizzazione del patrimonio, le scienze ambientali e lo studio dei servizi ecosistemici.

Tuttavia, la ricerca sulle infrastrutture verdi si interrompe laddove i vincoli del contesto storico impongono un salto di scala nel livello di dettaglio e in egual misura la ricerca sui rischi per il patrimonio culturale manca di uno sforzo proattivo nel ricercare soluzioni tecnicamente applicabili. La terza parte del contributo espone la metodologia adottata, le fasi della ricerca e i materiali di riferimento; nella quarta sezione viene presentato il caso studio, sviluppando un'analisi dell'esistente e del potenziale che può essere replicata in altri contesti; la quinta sezione comprende una discussione complessiva dei risultati ottenuti mentre il paragrafo conclusivo riassume obiettivi ed esiti raggiunti, aprendo orizzonti ibridati tra la pianificazione urbanistica, la valorizzazione del patrimonio e l'architettura del paesaggio.

## Il Paesaggio Storico Urbano e le infrastrutture verdi

Il rapporto tra uomo e natura ha avuto una lenta ma incessante evoluzione in parallelo con lo sviluppo della società umana e, in diverse epoche e luoghi, ha fornito un riflesso delle peculiarità culturali di differenti civiltà. Nonostante le indubbie differenze storiche e geografiche fino alla seconda rivoluzione industriale è possibile riconoscere un equilibrio garantito da uno sviluppo delle città limitato a una dimensione 'umana' e dalla relazione di prossimità e necessità con l'ambiente naturale circostante. Dal XIX secolo, lo sviluppo industriale, la crescita urbana e la trasformazione dei processi di produzione, trasporto e consumo segnano un'irreversibile cesura rispetto al passato. La logica dell'antropizzazione prende il sopravvento, sostituendo elementi e meccanismi artificiali in luogo di qualsiasi componente naturale e per circa due secoli l'unico ruolo residuo della natura nelle città rimane quello decorativo e scenografico ereditato da una concezione tipicamente ottocentesca di decoro urbano.

Dagli anni '70 una nuova consapevolezza sui limiti dello sviluppo (Meadows et alii, 1972) ha dato il via a un progressivo mutamento della mentalità collettiva. Con il nuovo millennio la presa di coscienza sui cambiamenti climatici in atto e sulle responsabilità del genere umano e del modello urbano hanno definitivamente posto le basi per una ridefinizione del rapporto tra uomo e natura e del ruolo del verde nelle città. Benché la sperimentazione su infrastrutture verdi e Nature-based Solutions (NbS) sia tuttora un tema altamente innovativo, la re-introduzione del verde nelle aree urbane può contare oggi su una cornice teorica ben definita a livello europeo (European Commission, 2019; Hansen et alii, 2019).

All'idea di Città Giardino si è sostituito il concetto di Green City che ibrida il substrato culturale della pianificazione urbana con aspetti tecnici di

ingegneria ambientale e gestione del rischio (Rowe and Hee, 2019). La ricerca scientifica è stata coinvolta in modo trasversale nello studio di possibili strategie di mitigazione e percorsi di adattamento (Steiner et alii, 2013) e benché la priorità principale rimanga la riduzione delle emissioni di anidride carbonica (Seddon et alii, 2021), al tempo stesso, sono oggetto di studio modalità complementari per rendere i contesti urbani meno vulnerabili e più resilienti anche nel breve-medio periodo. A tal proposito il concetto di verde infrastrutturale ricopre un ruolo di primaria importanza e richiama la necessità di superare un'idea di verde urbano legata a singoli elementi con valore decorativo e al più benefico locale in favore di una concezione olistica che tenga conto della capacità dei sistemi naturali di garantire un ampio spettro di benefici (EEA, 2014; Frantzeskaki, 2019; Georgi and Zafeiriadis, 2006; Georgi and Dimitriou, 2010).

Basandosi sugli esiti del progetto Natura 2000, la definizione comunemente adottata a livello europeo (European Commission, 2013, p. 3) descrive le infrastrutture verdi come «[...] a strategically planned network of natural and semi-natural areas with other environmental features designed and managed to deliver a wide range of ecosystem services». Persiste tuttavia un importante divario tra lo sviluppo teorico e l'efficacia delle esperienze pratiche; la sperimentazione concreta in particolare si sta sviluppando in maniera non uniforme sul tessuto urbano e i centri storici sono i principali esclusi a causa delle difficoltà aggiuntive che pongono (Gandini, Garmendia and San Mateos, 2017).

Prendendo a riferimento i 21 casi di NBS City Case Studies riportati nella piattaforma Oppla<sup>1</sup> si ottiene una restituzione dello stato di fatto nelle città europee. Delle 73 azioni menzionate (Tab. 1), 70 riguardano aree periferiche, mentre soltanto meno della metà sono applicate anche in quartieri centrali e storici. Inoltre l'89% degli spazi coinvolti sono aree pubbliche, mentre solo il 25% dei progetti include anche spazi privati. Per spiegare questa sproporzione occorre tenere conto delle specificità intrinseche e contingenti dei centri storici, ovvero la struttura compatta, la crescente densificazione, la forma urbana precedente alla diffusione dell'automobile come mezzo di trasporto individuale e quindi l'assenza di grandi arterie stradali e in generale di ampi spazi pubblici trasformabili.

In Tabella 1, tra i casi riportati, sono evidenziati i pochi che hanno saputo proporre strategie trasversali capaci di includere significativamente anche le aree storiche: di particolare interesse risultano i casi di Barcellona e Amsterdam. La prima, dovendo gestire le conseguenze di un intenso processo di densificazione e riduzione degli spazi verdi di quartiere in aggiunta ai crescenti effetti dei cambiamenti climatici, ha messo in atto a partire dal 2013 una serie di azioni per incrementare la resilienza urbana (Ajuntament de Barcelona, 2013). A tale scopo, è stato necessario ridefinire il concetto di infrastruttura verde in maniera interscalare, combinando indicatori quantitativi e qualitativi e includendo anche gli spazi privati, residenziali e non (Ajuntament de Barcelona, 2017). L'azione 10 del Barcelona Nature Plan (Ajuntament de Barcelona, 2021) pone in evidenza la necessità di agire sul piano della tutela del verde privato, spesso neanche censito a livello urbano, e della sua fruibilità, rendendo gli spazi privati più accessibili.

Considerazioni simili emergono dall'esperienza di Amsterdam, in cui azioni urbane, come i corridoi verdi, vengono adeguate alla scala del tessuto storico attraverso l'inserimento di giardini e spazi di pertinenza nel calcolo complessivo delle superfici verdi e permeabili, imponendo di conseguenza regole per limitare la pavimentazione e la perdita di vegetazione e promuovendone il rinverdimento (City of Amsterdam, 2011). Nel piano di visione del verde 2020-2050 inoltre si ricollega la strategia di Amsterdam con il rapporto storico tra spazio verde e identità culturale della città, sottolineando come il ruolo della componente naturale vada ridiscusso e aggiornato attraverso un dialogo attivo con la comunità (City of Amsterdam, 2020).

Oltre a queste due città, occorre citare Amburgo, nominata European Green Capital nel 2011 e caso esemplare di continuità nel rapporto tra città e natura (City of Hamburg, 2016). Nel corso dei decenni una serie di mirate politiche urbanistiche (Vitillo, 1997), culminate nel Piano paesaggistico del 1997 e nell'attuale Programma di rete verde (City of Hamburg, 2022), ha saputo capitalizzare il valore di una lunga tradizione di progettazione del verde urbano, risalente ai Piani di Fritz Schumacher e Gustav Oelsner dell'inizio del XX secolo, e tradurre l'impianto assiale della rete ecologica storica in un Programma di trasformazione sostenibile fortemente basato sul partenariato pubblico-privato.

Dalla consapevolezza che l'integrazione delle infrastrutture verdi in aree storiche presenta ancora notevoli criticità deriva la necessità di concentrare un ulteriore sforzo di ricerca per identificare soluzioni capaci di rispettare l'identità del contesto storico e al tempo stesso includerlo efficacemente ma ciò richiede anche un salto culturale nelle modalità di conservazione del patrimonio culturale. Dalla Seconda Guerra Mondiale in poi si sono succeduti infatti diversi approcci al tema della tutela, più o meno conservativi (Swensen, 2020). In generale però le esigenze di conservazione nella pianificazione non sono state combinate con una visione di lungo termine riguardante le funzioni delle aree storiche. Infatti, come sottolineato da Pendlebury (2008), non esiste per il Paesaggio Storico Urbano la medesima chiarezza e precisione di principi e metodi di gestione che invece si ha per singoli monumenti o siti d'interesse, per i quali si applicano le teorie della conservazione e del restauro.

La pianificazione urbana ha spesso concentrato i propri sforzi sulle aree periferiche o di più recente edificazione, riducendo il nucleo storico a una semplice collezione di edifici interessanti (Nadin et alii, 2015). Per questo l'elaborazione del concetto di Paesaggio Storico Urbano costituisce un fondamentale riferimento teorico (UNESCO, 2011), perché supera la concezione statica di centro storico e apre a una dialettica tra la preesistenza del patrimonio materiale e il divenire dei valori culturali, che mutano insieme alle comunità. In quest'ottica, le specificità storiche non sono solo un vincolo, ma anche una grande opportunità (Nocca, 2017; Della Spina, 2019; Hølleland, Skrede and Holmgaard, 2017).

**Obiettivi, metodologia e fasi della ricerca** | Se l'integrazione delle infrastrutture verdi in aree urbane storiche richiede considerazione puntuale per cogliere l'identità di ogni contesto (Benedict and McMahon, 2006), è pur vero che, come è tra-

sversale il problema, allo stesso modo può essere una metodologia per reintegrare queste aree nella trasformazione verde urbana. La prima fase della ricerca riguarda l'identificazione del problema e la definizione dei suoi contorni; la rassegna di casi studio presentata nel precedente paragrafo ha messo in luce i limiti delle strategie attualmente adottate e i tratti comuni di alcuni casi internazionali di successo. Quanto emerge da questo inquadramento ha rafforzato l'ipotesi che una strategia efficace per inserire le infrastrutture verdi nei centri storici debba avvalersi delle specificità del rapporto tra il contesto urbano e la componente naturale. In questo articolo è stato dunque approfondito il caso studio della Città di Milano per definire una metodologia estendibile ad altri casi; la prima fase della ricerca è quindi rappresentata dall'analisi a scala urbana dell'infrastruttura verde esistente e di quella prevista dalla pianificazione strategica, che ha evidenziato la condizione di isolamento del centro dalla rete ecologica comunale.

Un'ulteriore fase preliminare, menzionata ma non approfondita in questo articolo, è l'analisi storica degli usi del suolo e dell'integrazione del verde nel contesto urbano, da cui è derivata la scelta di focalizzare lo studio sullo spazio privato dei cortili interni, rafforzata dalla comparazione con i casi europei citati. Sulla base di queste considerazioni preliminari, ovvero il ruolo storico del verde privato e l'esistenza di un programma di infrastrutture verdi incentrato sullo spazio pubblico, si discute il possibile ruolo complementare dello spazio privato (Coolen and Meesters, 2012; Poortinga et alii, 2021).

Nell'analisi del caso studio gli obiettivi identificati riguardano: i) l'indagine della quantità e qualità del verde esistente negli spazi residenziali privati nel centro storico; ii) l'identificazione di soluzioni tecnologiche compatibili con la morfologia storica; iii) l'identificazione di opportunità e barriere al processo di rinverdimento del Paesaggio Storico Urbano. L'indagine su campo si è focalizzata su tre aree pilota. In totale sono stati analizzati 96 cortili in cui è stato mappato il verde esistente e le caratteristiche architettoniche dello spazio con lo scopo di valutare la corrispondenza della situazione attuale al concetto di verde infrastrutturale e di definire i margini di trasformabilità ed è stato effettuato un controllo incrociato tra le caratteristiche degli spazi considerati e le diverse tipologie di infrastrutture verdi.

Per valutare lo stato attuale e il potenziale di trasformazione dello spazio privato nel contesto storico di Milano sono stati combinati metodi d'indagine qualitativa e quantitativa e il risultato è sintetizzato in una matrice di compatibilità tra diverse componenti dell'infrastruttura verde e le caratteristiche del centro storico, che evidenzia barriere e potenzialità del processo e permette di focalizzare alcune soluzioni più indicate. La soluzione proposta, approfondita nelle sezioni successive, è uno strumento flessibile e replicabile in altri contesti con problematiche simili.

**Il caso studio di Milano** | Milano è un esempio rappresentativo di conurbazione densamente popolata e, con il suo Dipartimento di Transizione Ambientale istituito nel 2019 e l'introduzione di un obiettivo di rinaturalizzazione nel PGT Milano 2030, è pioniera in Italia per quanto riguarda l'adattamento ai cambiamenti climatici, benché il suo sistema del verde risulti ancora insufficiente in rap-

porto alla densità di popolazione e all'estensione urbana (Wolch, Byrne and Newell, 2014; Fig. 1). Consapevole dei crescenti problemi legati ai picchi di calore estivo, a un regime delle piogge alterato e ai continui superamenti delle soglie critiche europee (in base alla Direttiva 2008/50/CE<sup>2</sup>) in materia di inquinanti, Milano sta affrontando il tema della riorganizzazione urbana sostenibile. Il quadro di riferimento è tutto racchiuso nelle linee strategiche tracciate dal Piano Milano 2030 e una delle priorità identificate riguarda proprio la reintegrazione di un sistema naturale all'interno dell'ambiente antropizzato. Il nuovo Piano prevede una riduzione del 4% del consumo di suolo, attraverso l'ampliamento delle principali aree verdi peri-urbane (il Parco Sud e il Parco Nord) e la creazione di un collegamento ecologico tra essi (Tzortzi, Guaita and Kouzoupi, 2022). A questa ossatura principale si aggiunge la creazione di 20 nuovi parchi e un Piano di forestazione gestito dall'apposito progetto FORESTAMI, che per primo ha ventilato la necessità di inclusione dello spazio privato.

Tuttavia, il nucleo storico – definito dalla traccia delle mura spagnole – risulta completamente escluso da questa strategia e le connessioni verdi ipotizzate non riescono a penetrare il denso reticolo urbano del centro (Fig. 2). L'area centrale è attualmente assai carente di vegetazione, con una quota di verde pari al 13,7% all'interno delle mura spagnole e solo al 7,1% nella città medievale, d'altra parte, i cortili e gli altri spazi aperti privati coprono in media il 13% della superficie, rappresentando così un potenziale significativo.

Il ruolo delle corti interne come oasi verdi all'interno del tessuto denso della città storica non è un'idea contemporanea, ma un'eredità del passato. Analizzando lo sviluppo del verde nel corso dei secoli XIX e XX (Fig. 3), quindi a cavallo della trasformazione industriale e di radicali cambiamenti come la demolizione delle mura e l'avvento della ferrovia, si può notare che, parallelamente alla progressiva scomparsa dell'attività agricola dall'area urbana e alla comparsa di spazi adibiti a verde pubblico, il verde privato rimane una presenza costante e resistente, nonostante i violenti attacchi dovuti agli sventramenti di fine Ottocento e alla chiusura dei Navigli negli anni '20.

Storicamente legato alle ville aristocratiche o ai grandi complessi religiosi, il verde privato nel centro di Milano si configura come un vero e proprio sistema di elementi puntuali, ma fittamente e omogeneamente distribuiti sul territorio urbano. Alla rete verde si aggiunge anche la complementare infrastruttura idrica costituita da un complesso sistema di canali che lega la città al suo territorio senza soluzione di continuità. Oggi di questa eredità rimangono delle tracce significative, ma non sufficienti a garantire adeguati servizi ecosistemici a un centro storico sempre più compresso dall'espansione urbana circostante.

Poiché il verde privato rimane frequentemente escluso dalle analisi a scala urbana, sia a livello di mappatura dell'esistente sia di valutazione del potenziale, si è resa necessaria una verifica sul campo della situazione attuale. A tal fine, sono state selezionate tre aree di indagine rappresentative della

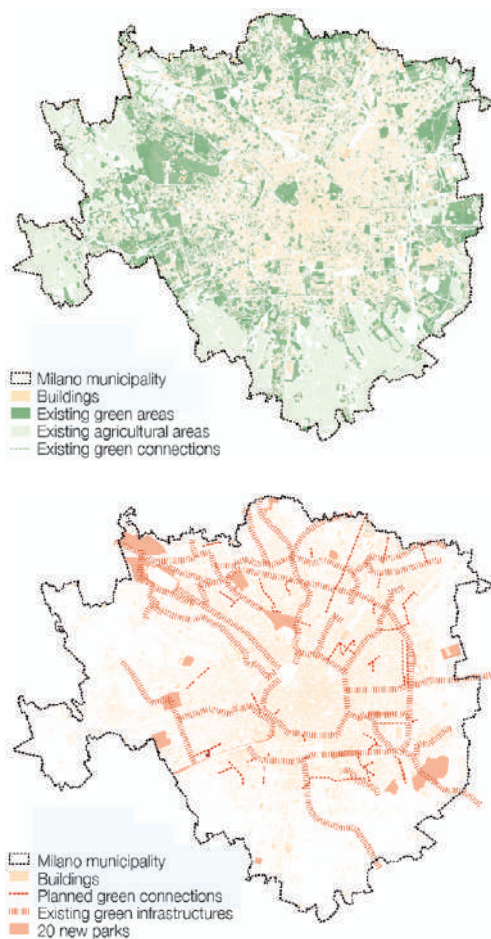
*Next page*

**Tab. 1** | Nature-based Solutions: City Case Studies (credit: the Authors, 2022).

| Country           | Main goal  | Actions   | Area of application  |                             | Governance   |               |
|-------------------|--|---|----------------------|-----------------------------|--------------|---------------|
|                   |  |   | historical districts | new or peripheral districts | public space | private space |
| Netherlands       | NBS for greening the city and increasing resilience          | City Parks  | ✓                    | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Green network                                     |                      | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Green neighbourhoods                              | ✓                    | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Green corridors                                   | ✓                    | ✓                           | ✓            |               |
| Italy             | NBS for greening the urban space                             | Deltaplan   |                      | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Operation Zero Degradation                        | ✓                    |                             | ✓            |               |
|                   |  | Shagree (Green shadows programme)                 | ✓                    | ✓                           | ✓            | ✓             |
| Spain             | Urban regeneration through NBS                               | Lama Balice Nature Park                           |                      | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Street trees                                      | ✓                    | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Green corridors                                   |                      | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Peri-urban forest                                 |                      | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Hybrid dunes                                      |                      | ✓                           | ✓            |               |
| Germany           | NBS for urban green connectivity and biodiversity            | Urban gardens                                     | ✓                    | ✓                           | ✓            | ✓             |
|                   |  | BENE (urban greening)                             | ✓                    | ✓                           | ✓            | ✓             |
|                   |  | Green Moabit:                                     |                      | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Transforming vacant urban areas                   | ✓                    | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | School gardens                                    | ✓                    | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Mixed forests programme                           |                      | ✓                           | ✓            |               |
| Spain             | NBS for dealing with extreme temperature and rainfall events | 20 Green Walks                                    | ✓                    | ✓                           | ✓            | ✓             |
|                   |  | Nomadic gardening Prinzessinnengarten             |                      | ✓                           | ✓            | ✓             |
| England           | NBS for ensuring a sustainable future                        | Zorrotzaurre project                              |                      | ✓                           | ✓            | ✓             |
|                   |  | Bilbao Greenbelt Expansion                        |                      | ✓                           | ✓            |               |
| Hungary           | NBS for climate resilience and pollution control             | Green infrastructure                              | ✓                    | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Green areas for flood management                  |                      | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Pocket parks and urban gardens                    | ✓                    | ✓                           | ✓            | ✓             |
| Netherlands       | NBS for sustainable urban transition                         | Renewing city parks                               | ✓                    | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Preserving forests and existing green areas       |                      | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | ARTS: from allotment gardens to community gardens |                      | ✓                           |              | ✓             |
| Ireland           | NBS for a more sustainable city by 2030                      | Landscape plan                                    |                      | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Sustainable urban drainage                        | ✓                    | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Green Infrastructure (GI)                         |                      | ✓                           | ✓            |               |
| Scotland          | NBS enhancing health, wealth and sustainability              | Green roofs and green walls                       | ✓                    | ✓                           | ✓            | ✓             |
|                   |  | Granton Community Gardeners                       |                      | ✓                           |              | ✓             |
|                   |  | Duddingston Field Group                           |                      | ✓                           | ✓            |               |
| Belgium           | NBS bridging green and industrial heritage                   | Pollinator Pledge                                 |                      | ✓                           |              | ✓             |
|                   |  | Urban farming (Modeltuin Genk Noord)              |                      | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Bee Plan (Bijenplan)                              |                      | ✓                           |              | ✓             |
| Austria           | NBS as a motor for urban growth                              | Green Corridor Stiemerbeek Valley                 | ✓                    | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Heempark  |                      | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Landschaftspark BinderMichl-Spallerhof            |                      | ✓                           | ✓            |               |
| Portugal          | NBS enhancing resilience through urban regeneration          | SolarCity   |                      | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Urban greening strategy                           | ✓                    | ✓                           | ✓            | ✓             |
|                   |  | Green Corridors                                   | ✓                    | ✓                           | ✓            |               |
| Slovenia          | NBS for urban regeneration and wellbeing                     | Street trees                                      | ✓                    | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Urban agriculture                                 |                      | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Green Areas (and agricultural allotments)         |                      | ✓                           | ✓            |               |
| England           | NBS for a leading sustainable city                           | Ecological Zone                                   | ✓                    |                             | ✓            |               |
|                   |  | Restoration of the River Ljubljanica              | ✓                    | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Green roofs (London/Barking Riverside)            |                      | ✓                           |              | ✓             |
|                   |  | NWRM — River Quaggy                               |                      | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Brownfield restoration, Barking Riverside         |                      | ✓                           | ✓            |               |
| Italy             | NBS for urban regeneration                                   | Olympic Park — biosolar roofs                     |                      | ✓                           |              | ✓             |
|                   |  | Beetle Bump, Univ. of East London campus          |                      | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Parco Agricolo Sud                                |                      | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Urban Gardening                                   | ✓                    | ✓                           | ✓            |               |
| Romania           | Improving quality of life with NBS                           | Bosco Verticale                                   |                      | ✓                           | ✓            | ✓             |
|                   |  | Gorla Water Park                                  |                      | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Green area rehabilitation and development of GI   | ✓                    | ✓                           | ✓            |               |
| Poland            | NBS for a friendly, mobile city                              | Lake creation                                     |                      | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Creation of outdoor leisure areas                 | ✓                    | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Maintaining the green wedge system                |                      | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Planting 18 000 trees on roadside                 | ✓                    | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Transforming car parks into green areas           | ✓                    | ✓                           | ✓            |               |
| Netherlands       | NBS for building a waterproof city                           | Community gardens                                 |                      | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Creating seasonal beaches                         |                      | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Water storage capacity                            | ✓                    | ✓                           | ✓            | ✓             |
| Hungary           | NBS for urban regeneration & adaptation to climate change    | Delta plan  |                      | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Tidal park programme (Esch, Mallegat)             |                      | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Green area rehabilitation and development         | ✓                    | ✓                           | ✓            |               |
| Netherlands       | NBS for for urban resilience & citizens' wellbeing           | Urban gardening                                   |                      | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | Central Station: a 'Smart Sustainable District'   | ✓                    |                             | ✓            | ✓             |
|                   |  | Leidsche Rijn: sustainable urban drainage         | ✓                    | ✓                           | ✓            |               |
|                   |  | City trees and greenery                           | ✓                    | ✓                           | ✓            |               |
| <b>73 actions</b> |  |   | <b>31</b>            | <b>70</b>                   | <b>65</b>    | <b>18</b>     |

complessità del centro storico (Fig. 4): la prima area (a) si trova all'interno della cerchia interna dei Navigli; la seconda area (b) è compresa tra la cerchia dei Navigli e il tracciato delle mura spagnole e ha subito importanti trasformazioni con l'avvento della ferrovia; la terza area (c) è parte dell'ex Lazaretto, demolito e urbanizzato nel corso del XIX secolo secondo una logica di speculazione immobiliare che ha ridotto al minimo lo spazio pubblico e le aree verdi.

Le differenze tra le tre zone di interesse trovano riscontro anche nei dati demografici e ambientali riportati dalla classificazione dei Nuclei d'Identità Locale (NIL) operata dal Comune di Milano (2019). Le tre aree di indagine afferiscono rispettivamente al NIL01-Duomo, NIL02-Brera e NIL21-P.ta Venezia. Occorre precisare che i due principali parchi del centro, ovvero il Parco Sempione e i Giardini Pubblici Indro Montanelli sono esclusi dall'analisi in quanti registrati in NIL indipendenti. Ad ogni modo, osservando i dati, si nota un drammatico aumento della densità abitativa tra la prima e la terza zona (NIL01: 7,3 ab/kmq; NIL02: 11,6 ab/kmq; NIL03: 21,5 ab/kmq), mentre la quota di verde pubblico sulla superficie totale di ciascun NIL rimane pressoché costante (attorno al 9,5%). La scarsa presenza di verde pubblico unita a elevati valori di urbanizzazione (oltre il 95% in tutte e tre le zone) restituisce un'immagine dei limiti che le



**Fig. 1** | Mapping of the existing green infrastructure in the Municipality of Milan with reference to DBT2012 (credit: M. S. Lux, 2021).

**Fig. 2** | Mapping of planned green infrastructure in the Municipality of Milan with reference to DBT2012, PGT Milano2030 and H2020 CleverCities Project (credit: M. S. Lux, 2021).

strategie di verde urbano incentrate sullo spazio pubblico incontrano quando si confrontano con la compattezza del tessuto storico. A fronte di queste considerazioni, le superfici delle corti interne, che rappresentano il 13% del totale, assumono un interesse ancora maggiore.

Nelle tre aree descritte sono stati eseguiti sopralluoghi puntuali in 96 cortili, in cui è stata registrata la presenza/assenza di vegetazione; la tipologia della vegetazione presente; la caratterizzazione del suolo e la presenza di facciate cieche (Fig. 5). I risultati ottenuti mostrano che il 27% di essi non presenta alcun tipo di vegetazione; anche dei cortili con presenza di verde, circa la metà dispone solamente di vegetazione in vaso, che fornisce un contributo estetico, ma non impatta strutturalmente sulle performance ambientali (Fig. 6). Solamente 39 cortili su 96 presentano la vegetazione integrata nel suolo, capace di fornire un più ampio spettro di benefici e maggiormente coerente con l'idea di verde infrastrutturale. Anche l'analisi degli usi dello spazio ha restituito risultati che confermano l'attuale stato di sottoutilizzo delle corti interne. Quasi il 60% dei cortili analizzati sono attualmente utilizzati per il parcheggio delle automobili, mentre solo l'8% sono dotati di sedute e attrezzati in maniera tale da favorire le interazioni sociali.

**Orizzontale e verticale nella città compatta** | Facendo riferimento ai dati raccolti, è stata effettuata una verifica incrociata riguardante la fattibilità di diverse tipologie di infrastrutture verdi e NbS. In particolare, si è presa a riferimento la matrice tipologica proposta da Bartesaghi Koc, Osmond and Peters (2016, 2017) che riconduce le infrastrutture verdi a tre principali categorie, ovvero la vegetazione, la superficie di suolo e le strutture verticali. Questa struttura è stata combinata con una proposta di classificazione dei benefici delle NbS emersa dal progetto europeo GrowGreen (Petsinaris, Baroni and Georgi, 2020). Rispetto a entrambi i riferimenti sono state operate alcune modifiche dovute a un adattamento necessario per riportare studi che includevano anche la scala paesaggistica alla dimensione più contenuta della città storica. Ad esempio, rispetto alla classificazione della vegetazione tra piante sempreverdi e a foglie caduche, si è preferito sostituire la distinzione in base al livello di integrazione utilizzata in fase di sopralluogo, tra piante in vaso e al suolo.

La Tabella 2 illustra la matrice risultante che riassume sia i risultati delle osservazioni sia una valutazione critica del potenziale di diverse soluzioni e consiste in due sezioni distinte: la fascia superiore serve a restituire una immagine dello stato di fatto basata sui dati raccolti nelle aree pilota. L'assegnazione di un valore nullo (0), basso (L), medio (M) o alto (H) alla presenza di una data componente dell'infrastruttura verde è frutto di una comparazione tra il numero di ricorrenze nell'area considerata (a, b, c) e il numero complessivo di cortili facenti parte del campione (96 cortili). Nel caso di studio, si nota la prevalenza della soluzione effimera della vegetazione in vaso e delle superfici impermeabili artificiali. La seconda sezione della matrice punta a estendere i risultati delle aree pilota al sistema più ampio costituito dal Paesaggio Storico Urbano in esame, in questo caso il centro di Milano.

Dalla valutazione dell'esistente si passa dunque a quella della fattibilità e del potenziale di ciascuna soluzione, rispettivamente requisiti e bene-

fici. Dei cinque requisiti definiti dagli autori, due (riconoscibilità e reversibilità) fanno riferimento all'ambito disciplinare della conservazione del patrimonio architettonico e sono stati introdotti per valutare l'eventuale impatto negativo di interventi eccessivamente invasivi rispetto al tessuto storico e alle caratteristiche materiali del costruito. I tre requisiti di fattibilità spaziale, strutturale ed economica puntano invece a fornire un riscontro per superare i limiti applicativi delle strategie esistenti. La sotto-sezione dedicata ai benefici ripropone la distinzione in benefici ambientali, socio-culturali ed economici mutuata dal progetto GrowGreen e ne adegua la valutazione alla nuova struttura proposta per la tabella.

Nel caso di Milano si osserva come la soluzione della vegetazione in vaso, estremamente diffusa, non sia soddisfacente soprattutto in termini di benefici ambientali ed economici. Le soluzioni strutturali che coinvolgono il rimaneggiamento del suolo presentano invece un'efficacia maggiore, benché siano più difficilmente reversibili. È stato considerato inoltre che, nei contesti storici, il layer della vegetazione, soprattutto se ad alto fusto, presenta problematiche legate alla vicinanza agli edifici e allo sviluppo dell'apparato radicale. In tal senso soluzioni reversibili come il verde verticale possono rappresentare una valida alternativa per regolare i parametri termoisolativi e per contenere l'innalzamento delle temperature nel periodo estivo. Le strutture verticali, generalmente ritenute incompatibili con i beni architettonici laddove sussistano vincoli di facciata, sono invece possibili negli spazi dei cortili interni e sui muri di separazione tra aree di pertinenza. I dati sul campo hanno infatti registrato la presenza di 70 muri e 20 facciate cieche potenzialmente trasformabili con soluzioni verdi (Fig. 7).

Lo stesso non si può dire a proposito dei tetti verdi, la cui applicazione è effettivamente limitata sia dalla scarsa presenza di coperture piane nelle aree storiche sia dall'inadeguatezza strutturale di quelle presenti, come emerso anche dagli esiti del progetto Decumanus (Comune di Milano, 2016). Le superfici di suolo presentano, invece, un margine di trasformazione consistente (Fig. 8). Nelle corti analizzate è stata registrata un'ampia prevalenza di suolo artificiale impermeabile (intorno al 78%), generalmente legato all'utilizzo come parcheggio. La de-pavimentazione del suolo e il ripristino di superfici permeabili possono garantire un importante contributo nella gestione delle acque meteoriche, sgravando la rete centralizzata e riconnettendo gli spazi privati alla struttura urbana anche da un punto di vista funzionale. La reintegrazione di un'opportuna vegetazione nei cortili interni attraverso entrambi gli approcci, orizzontale al suolo e verticale, può apportare un contributo consistente in termini di raffrescamento attraverso meccanismi di evapotraspirazione (Massetti et alii, 2019) e la regolazione dell'emissività delle superfici (Perini et alii, 2013).

È opportuno osservare come la tabella proposta possa essere tradotta in uno strumento di supporto ai processi decisionali, applicabile anche in altri contesti di città storica. Ad esempio, se si attribuisce un punteggio numerico agli indicatori qualitativi (L = 1, M = 2, H = 3) e pesi, indicati come 'w' e '1-w', a fattibilità complessiva e benefici complessivi, allora le varie soluzioni possono essere inserite in una graduatoria sulla base del punteggio

complessivo ottenuto dalla formula:  $w \cdot \text{overall feasibility} + (1 - w) \cdot \text{overall benefits}$ . L'assegnazione del peso 'w' deve rispecchiare l'importanza delle due sotto-sezioni, valutata in base alla conoscenza del contesto analizzato.

Nel caso di Milano, escludendo le soluzioni che presentano un valore nullo in almeno una delle categorie di fattibilità e assegnando peso  $w = 0,6$  alla sotto-sezione della fattibilità complessiva e  $0,4$  ai benefici complessivi, le soluzioni preferibili risultano essere quelle caratterizzate dalla presenza di verde verticale, in forma di vegetazione rampicante e living wall, e orizzontale, attraverso la trasformazione del suolo con l'inserimento di vegetazione bassa e media e di pavimentazione permeabile. La scelta di assegnare un peso superiore alla fattibilità complessiva nel caso qui analizzato è finalizzata a penalizzare soluzioni accettabili, ma con un basso grado di fattibilità, come la vegetazione ad alto fusto.

**Conclusioni** | Lo studio proposto fornisce un contributo per l'estensione delle infrastrutture verdi urbane nei centri storici attraverso un approccio basato sulla valutazione caso per caso delle specificità culturali e urbanistiche del contesto. Coerentemente con la necessità di adeguare le aree storiche alle crescenti minacce dei cambiamenti climatici in una concezione dinamica del Paesaggio Storico Urbano (Bandarin and van Oers, 2012), il contributo suggerisce una riflessione metodologica sull'opportunità di ricollegare l'approccio delle infrastrutture verdi con i modi di relazione tradizionale tra città e natura. Il procedimento illustrato porta, nel caso di studio trattato, a trovare una scala d'intervento e un contesto spaziale, quello delle aree private pertinenziali, per estendere e adeguare l'infrastruttura verde urbana anche al centro storico.

L'esito della proposta, ovvero la matrice di compatibilità tra il contesto analizzato e diverse soluzioni verdi, si configura come uno strumento versatile da replicare in altri contesti, una volta definiti i contorni di applicazione sulla base delle fasi preliminari di analisi storica e urbanistica del contesto. La flessibilità di questa matrice ne costituisce al tempo stesso il principale pregio, in quanto ne estende l'applicabilità, ma anche un punto critico, poiché la significatività dei risultati dipende notevolmente dal grado di conoscenza di caso trattato: la trasformazione degli indici qualitativi in valori numerici non necessariamente deve riproporre l'esempio presentato e lo stesso dicasi per l'assegnazione dei pesi alle categorie di fattibilità e benefici.

Per entrambe le sotto-sezioni inoltre, la matrice è potenzialmente ampliabile attraverso l'aggiunta o la precisazione di alcuni parametri e indicatori: ad esempio, la fattibilità spaziale appare fortemente legata alle condizioni del sottosuolo urbano, non considerate in questo studio, e la valutazione dei benefici, qui prevalentemente tratta dalla letteratura, può essere ricondotta a simulazioni volte a quantificare più precisamente i reali benefici a livello ambientale. Si rendono infine necessari ulteriori approfondimenti in merito alla fattibilità economica degli interventi (Manso et alii, 2021; Vojinovic et alii, 2017) e alla loro inclusione in un programma coordinato di politiche urbane (Buijs et alii, 2019).

In conclusione, si può affermare che il rinverdimento dei centri storici e l'integrazione del Paesaggio Storico nell'infrastruttura verde urbana può con-



**Fig. 3** | Historical evolution of green areas in Milan in the three maps of 1814, 1884 and 1946 (source: stagniweb.it and geoportale.comune.milano.it; credit: Fototeca Gilardi).

tribuire positivamente alla valorizzazione e alla tutela del patrimonio, in un'ottica di trasformazione dinamica, benché rispettosa dei valori storici e culturali. Per bilanciare l'impermeabilità e l'alta densità dell'edificato nei contesti storici, le strategie di rinverdimento si scontrano con un problema di non immediata soluzione, ma al tempo stesso aprono opportunità di ricerca per una riscrittura collettiva del rapporto tra uomo e natura proprio nello spazio urbano che ne ha testimoniato l'evoluzione nel corso del tempo.

In recent decades, continuous and generalized crises appear increasingly linked to the impact of human activity on the ecosystemic functioning of the natural environment, of which the relentless growth of urbanization processes is both cause and symptom. Projections of expected urban population growth and a future scenario governed by climate change predict a rapid decline in the quality of life in cities, where more than half of the global population is already concentrated (UN, 2019). In addition, the disproportionate ecological footprint of urban areas and the inadequacy of the man-made environment in responding to increasing risk scenarios has meant that cities have long been the focus of research to identify pathways for sustainable development. The theme of re-integrating nature is increasingly at the forefront of urban adaptation strategies (Frantzeskaki et alii, 2019). Indeed, the artificial environment has clearly shown its limitations and presents a rigidity that is incapable of providing flexible responses to rapidly changing surrounding conditions. On the other hand, nature is characterized by an inherent adaptive capacity that seems to be the key to increasing the resilience of cities (Andersson et alii, 2014).

Particular attention must be paid to historical nuclei, whose vulnerability is further increased by cultural, social, and environmental factors. A large part of the urban cultural heritage is concentrated in these nuclei, thus increasing the exposed risk calculation value. In addition, the population of large urban centres ages faster than in non-metropolitan areas (OECD, 2015), and urban density has also proven problematic in the face of the spread of new diseases, as is the case with the Covid-19 pandemic. Finally, these settings are more prone to side effects, such as the urban heat island and heatwaves (Manoli et alii, 2019).

Historically, the relationship between the city and nature has always guaranteed a balance between the anthropized environment and the natu-

ral one; starting from the Industrial Revolution, however, this balance has progressively deteriorated. As a result, today, historical nuclei are the urban areas most structurally lacking in green spaces and where it is most complex to conceive the reintegration of natural components. The compact structure of the historic city and the numerous heritage conservation constraints result in poor compatibility with the most common green solutions, such as green corridors and new parks, also due to the lack of transformable public space (Haaland and van den Bosch, 2015). The renaturalization process requires an extremely 'site-specific' approach, which is burdensome in terms of resources, time, and cost; therefore, green infrastructure planning is required to systemize urban goals with the morphology of the historic context.

This study, in this perspective, discusses the limits of resilience and renaturalization strategies currently adopted in several European cities, highlighting their poor applicability in historical contexts, and proposes a complementary approach, developed in relation to Milan's case study, to ensure better integration between green infrastructure and urban cultural heritage. In particular, the connection of the modern concept of Green Infrastructure (GI) with the historical foundation of the relationship between city and nature is proposed as the turning point of the issue. The reconstruction of the state of the art, illustrated in the following paragraph, represents the starting point to identify the disciplinary areas involved in the issue and the important gap concerning the integration of heterogeneous approaches: the adaptation of urban structures and cultural heritage to climate change is, in fact, a converging area between strategic planning, conservation and enhancement of heritage, environmental sciences and the study of ecosystemic services.

However, research on GI stalls where the constraints of the historical context impose a leap of scale in the level of detail. To an equal extent, the research on cultural heritage risks lacks a proactive effort in seeking technically applicable solutions. The third section of the contribution lays out the adopted methodology, the research phases, and the reference materials. The fourth section presents the case study, developing an analysis of existing and potential elements that can be replicated in other contexts. The fifth section includes an overall discussion of the results achieved, while the concluding paragraph summarizes objectives and outcomes, opening hybrid horizons between urban planning, heritage enhancement, and landscape architecture.



## The Historic Urban Landscape and Green Infrastructures

The relationship between man and nature has had a slow but incessant evolution, in parallel with the development of human society. At different times and places, it has reflected the cultural peculiarities of different civilizations. Despite the unquestionable historical and geographical differences, up to the second industrial revolution, city development was limited to the 'human' dimension and there was a relationship of proximity and necessity with the surrounding natural environment, thus maintaining an overall balance. From the nineteenth century, industrial development, urban growth, and the transformation of the processes of production, transport and consumption mark an irreversible rupture with the past. The logic of anthropization takes over, substituting any natural components with artificial elements and mechanisms. For about two centuries, nature in the city remains relegated to a mere decorative and scenic role inherited from a typically nineteenth-century concept of urban decoration.

Since the 1970s, a new awareness of the limits of development (Meadows et alii, 1972) triggered a progressive change in the collective mindset. With the new millennium, the awareness of climate change and the responsibilities of both mankind and the urban model have set the basis for a redefinition of the relationship between man and nature, as well as for the role of green in cities. Although experimentation on GI and Nature-based Solutions (NbS) is still a highly innovative topic, the re-introduction of green in urban areas can now count on a well-defined theoretical framework at the European level (European Commission, 2019; Hansen et alii, 2019).

The idea of the Garden City has been replaced by the concept of the Green City, which hybridizes the cultural substrate of urban planning with technical aspects of environmental engineering and risk management (Rowe and Hee, 2019). Scientific research has been transversally involved in the study of possible mitigation strategies and adaptation pathways (Steiner et alii, 2013). Although the main priority remains the reduction of CO<sub>2</sub> emissions (Seddon et alii, 2021), at the same time, complementary ways to make urban contexts less vulnerable and more resilient are being explored even in the short to medium term. In this regard, the concept of infrastructural green network plays a role of primary importance and draws attention to the

need to overcome an idea of urban greenery linked to single elements with decorative value and at most a local benefit, in favour of a holistic conception that takes into account the capacity of natural systems to ensure a broad spectrum of benefits (EEA, 2014; Frantzeskaki, 2019; Georgi and Dimitriou, 2010; Georgi and Zafeiriadis, 2006).

Building on the outcomes of the Natura 2000 project, the definition commonly adopted at the European level describes GI as «[...] a strategically planned network of natural and semi-natural areas with other environmental features designed and managed to deliver a wide range of ecosystem services» (European Commission, 2013, p. 3). However, there is still an important gap between theoretical development and effective practical experience. Concrete experimentation in particular is developing unevenly across the urban fabric, with historic centres being the main outliers due to the additional difficulties they pose (Gandini, Garmendia and San Mateos, 2017).

The 21 NBS City Case Studies reported in the Oppla1 platform give a clear image of the state of affairs in European cities. Out of the 73 actions mentioned (Tab. 1), 70 concern peripheral areas, while only less than half are also applied in central and historic districts. Moreover, 89% of the spaces involved are public areas, while only 25% of the projects also include private spaces. To explain this imbalance, it is necessary to take into account the intrinsic and contingent specificities of historic centres, namely the compact structure, the increasing densification, the urban form before the diffusion of the automobile as a means of individual transport, and therefore the absence of arterial roads and in general of large transformable public spaces.

Table 1 shows the few cases that have been able to propose transversal strategies capable of significantly including historical areas, such as Barcelona and Amsterdam. The former, having to manage the consequences of an intense process of densification and reduction of neighbourhood green spaces in addition to the growing effects of climate change, has implemented, since 2013, a series of actions aimed at increasing urban resilience (Ajuntament de Barcelona, 2013). To this end, it has been necessary to redefine the concept of GI in an inter-scalar manner, combining quantitative and qualitative indicators and also including residential and non-residential private spaces (Ajuntament de Barcelona, 2017). Action 10 of the Barcelona Nature Plan (Ajuntament de Barcelona, 2021) highlights the need to protect private greenery, often not even surveyed at the urban level, and its usability, thus improving the accessibility of private spaces.

Similar considerations are also applicable to Amsterdam, where urban actions, such as green corridors, are adapted to the scale of the historical fabric through the inclusion of gardens and relevant spaces in the overall calculation of green and permeable surfaces, consequently imposing rules to limit paving and loss of vegetation and promoting re-greening (City of Amsterdam, 2011). The green vision plan 2020-2050 also associates Amsterdam's strategy with the historical relationship between green space and the cultural identity of the city, emphasizing how the role of the natural component must be re-discussed and updated through an active dialogue with the community (City of Amsterdam, 2020).

In addition to these two cities, it is worth men-

tioning Hamburg, named European Green Capital in 2011 and an exemplary case of continuity in the relationship between city and nature (City of Hamburg, 2016). Through a series of focused urban planning policies (Vitillo, 1997) developed over decades and culminating in the 1997 Landscape Plan and the current Green Network Program (City of Hamburg, 2022), Hamburg has successfully capitalized on the value of a long tradition of urban green design, dating back to the Plans of Fritz Schumacher and Gustav Oelsner in the early 20th century, and has translated the axial framework of the historic ecological network into a Sustainable Transformation Program strongly based on public-private partnerships.

The awareness that the integration of GI in historic areas still presents significant criticalities creates the need to focus further research efforts to identify solutions that can respect the identity of the historic context and at the same time effectively include it. This also requires a cultural leap in the way cultural heritage is preserved. Indeed, since World War II there have been different more or less conservative approaches to the topic of preservation (Swensen, 2020). In general, however, preservation concerns in planning have not been combined with a long-term vision regarding the functions of historic areas. As Pendlebury (2008, p. 210) points out, «[...] while there are clear, authorised sets of principles for managing monuments or sites (the conservative repair approach), no such clarity exists for the management of places, with their multiplicity of buildings».

Urban planning has often focused its efforts on peripheral or more recently urbanized areas, reducing the historic core to a simple collection of interesting buildings (Nadin et alii, 2015). For this reason, the elaboration of the concept of Historic Urban Landscape constitutes a fundamental theoretical reference (UNESCO, 2011), because it overcomes the static conception of the historical centre, opening the possibility of a dialectic between the pre-existing material heritage and the evolution of cultural values, which change along with communities. In this perspective, historical specificities are not only a constraint but also a great opportunity (Nocca, 2017; Della Spina, 2019; Hølleland, Skrede and Holmgaard, 2017).

## Objectives, methodology, and phases of research

The integration of GI into historic urban areas requires timely consideration to capture the identity of each context (Benedict and McMahon, 2006). Nevertheless, it is also true that the methodology for reintegrating these areas into urban green transformation can be as transversal as the issue itself. The first phase of the research involves identifying the problem and defining its contours. The review of the case studies presented in the previous section highlighted the limitations of currently adopted strategies and the common features of some successful international cases. What emerged from this framework strengthened the hypothesis that an effective strategy for the inclusion of green infrastructure in historic centres must take advantage of the specificities of the relationship between the urban context and the natural component. Therefore, this study aims to define a methodology that can be extended to other cases through the case study of Milan. The first phase of the research is thus represented by the analysis at the urban scale of the

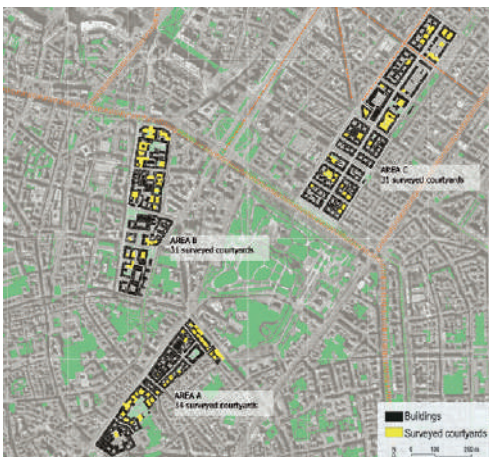


Fig. 4 | Map of surveyed areas (credit: M. S. Lux, 2021).

existing green infrastructure and of that foreseen by the strategic planning, which highlighted the centre's isolation from the municipal ecological network.

A further preliminary phase, which this study mentions but does not explore further, is the historical analysis of land uses and the integration of green in the urban context, resulting in the choice to focus the study on the private space of inner courtyards, reinforced by the comparison with the aforementioned European cases. The possible complementary role of private space is discussed based on these preliminary considerations, namely, the historical role of private green space and the existence of a GI program focused on public spaces (Coolen and Meesters, 2012; Poortinga et alii, 2021).

In the case study, the identified objectives concern: i) the exploration of the quantity and quality of existing green spaces in private residential areas in the historic centre; ii) the identification of technological solutions compatible with the historical morphology; iii) the identification of opportunities and barriers to the greening process of the Historic Urban Landscape. The field survey focused on three pilot areas, analysing a total of 96 courtyards. The existing greenery and the architectural characteristics of the space were mapped to assess the correspondence of the current situation to the concept of infrastructural greenery and to define the margins of transformability. Finally, a cross-check between the characteristics of the considered spaces and the different types of GI was carried out.

Qualitative and quantitative methods of investigation have been combined in order to evaluate the current state and the potential for the transformation of private space in the historical context of Milan. The result is summarized in a compatibility matrix showing different components of GI and the characteristics of the historic centre. The matrix highlights barriers and potential opportunities of the process, drawing focus on some of the most suitable solutions. The proposed solution, further explored in the following sections, is a flexible tool that can be replicated in other contexts facing similar challenges.

**The Milan case study** | Milan is a representative example of a densely populated conurbation and also a pioneer in Italy in terms of climate change adaptation, thanks to its Environmental Transition Directorate established in 2019 and the introduction of a renaturalization target in the PGT Milano 2030, although its green system is still insufficient in relation to population density and urban extension (Wolch, Byrne and Newell, 2014; Fig. 1). Milan is currently addressing the issue of sustainable urban reorganization, well aware of the growing issues related to summer heat peaks, altered rainfall regime, and continuous exceedances of critical European pollutant thresholds (under Directive 2008/50/EC<sup>2</sup>). The reference framework is enclosed in the strategic guidelines outlined in the Milan 2030 Plan. One of the identified priorities specifically concerns the reintegration of a natural system within the anthropized environment. The new Plan foresees a 4% reduction in land consumption, through the expansion of the main peri-urban green areas (the South Park and the North Park) and the creation of an ecological connection between them (Tzortzi, Guaita and Kouzoupi, 2022). The creation of 20 new parks is added to this main



**Fig. 5** | Survey areas and classification of the courtyards according to the presence and typology of vegetation (credit: M. S. Lux, 2021).

**Fig. 6** | Different levels of vegetation integration in the surveyed courtyards, Milan, October 2021 (credit: M. S. Lux, 2021).

framework, as well as a Forestation Plan managed by the dedicated FORESTAMI project, which was the first to address the need for the inclusion of private space.

However, the historic core – defined by the trace of the Spanish walls – is completely excluded from this strategy, and the hypothesized green connections fail to penetrate the dense urban network of the city centre (Fig. 2). The central area is currently heavily lacking in vegetation, with a green share of 13.7% within the Spanish walls and only 7.1% in the medieval city. On the other hand, courtyards and other private open spaces cover on average 13% of the area, thus representing significant potential.

The role of the inner courtyards as green oases within the dense fabric of the historic city is not a contemporary idea, but a legacy of the past. If we analyse the development of green areas during the 19th and 20th centuries (Fig. 3), moving from the industrial transformation and radical changes such as the demolition of the walls and the advent of the railroad, we can see that, in parallel with the progressive disappearance of agricultural activity

from the urban area and the appearance of public green spaces, private green areas remained a constant and resistant presence, despite the violent attacks due to the demolitions of the late 19th century and the shutdown of the Navigli canals in the 1920s.

Historically linked to aristocratic villas or large religious complexes, private green areas in the centre of Milan are configured as an actual system of punctual elements, but densely and homogeneously distributed throughout the urban territory. In addition to the green network, there is also the complementary water infrastructure, consisting of a complex system of canals that interconnects the city to its territory without interruption. Today, significant traces of this legacy remain, but they are not sufficient to guarantee adequate ecosystem services to a historical centre increasingly compressed by the surrounding urban expansion.

Since private green areas are frequently excluded from analyses at the urban scale, both in terms of mapping the existing areas and evaluating their potential, a field study of the current situ-

| <b>LEGEND</b><br> |                        | Vegetation Layer (VL)             |   |        |   |      |   |          |   | Ground Surface (GS)  |   |          |   | Building Structures (BS) |               |                 |           |                     |              |
|--|------------------------|-----------------------------------|---|--------|---|------|---|----------|---|----------------------|---|----------|---|--------------------------|---------------|-----------------|-----------|---------------------|--------------|
|  |                        | ground vegetation                 |   |        |   |      |   |          |   | terrestrial surfaces |   |          |   | water bodies             |               | roof structures |           | vertical structures |              |
|  |                        | low                               |   | medium |   | high |   | climbing |   | impervious           |   | pervious |   | vegetated                | non-vegetated | intensive       | extensive | green facades       | living walls |
|  |                        | S                                 | P | S      | P | S    | P | S        | P | N                    | A | B        | V |                          |               |                 |           |                     |              |
| <b>PRESENCE IN PILOT AREA</b>  |                        |                                   |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
| Area   | a                      |                                   |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  | b                      |                                   |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  | c                      |                                   |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
| <b>FEASIBILITY &amp; BENEFITS IN HISTORICAL CONTEXT</b>  |                        |                                   |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
| requirements   | reversibility          |                                   |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  | recognizability        |                                   |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  | spatial feasibility    |                                   |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  | structural feasibility |                                   |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  | economical feasibility |                                   |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
| <b>overall feasibility</b>   |                        |                                   |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
| provided benefits  | environmental          | Temperature regulation            |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  |                        | Surface water flood mitigation    |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  |                        | Water quality                     |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  |                        | Regulation of the water cycle     |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  |                        | Groundwater recharge              |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  |                        | Soil quality & erosion prevention |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  |                        | Air quality                       |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  |                        | Noise mitigation                  |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  |                        | Biodiversity                      |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  |                        | Pollination                       |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  | social/cultural        | Health and quality of life        |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  |                        | Recreation, education & gathering |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  |                        | Aesthetic regeneration            |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  |                        | Amenity value                     |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  |                        | Employment                        |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  | economic               | Food provision                    |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  |                        | Water provision                   |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  |                        | Energy savings                    |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  |                        | Income generation                 |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
|  |                        | Increased value of land/property  |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
| Increased tourism  |                        |                                   |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |
| <b>overall benefits</b>  |                        |                                   |   |        |   |      |   |          |   |                      |   |          |   |                          |               |                 |           |                     |              |

**Tab. 2 |** Compatibility matrix of green infrastructure in historical contexts. Abbreviations: 'S' = integrated in the soil; 'P' = planted in the soil; 'N' = natural; 'A' = artificial; 'B' = bared; 'V' = vegetated (credit: the Authors, 2022).



Fig. 7 | Horizontal and vertical green in the analysed courtyards, Milan, October 2021 (credit: M. S. Lux, 2021).



Fig. 8 | Different uses and degrees of soil permeability found in the analysed courtyards, Milan, October 2021 (credit: M. S. Lux, 2021).

ation was deemed necessary. To this end, three survey areas were selected as representative of the complexity of the historic centre (Fig. 4): the first area (a) is located within the inner circle of Navigli; the second area (b) is between the circle of Navigli and the layout of the Spanish walls and has undergone major transformations with the advent of the railway; the third area (c) is part of the former Lazzaretto, demolished and urbanized during the nineteenth century due to real estate speculation that minimized public space and green areas.

The differences between the three areas of interest are also reflected in the demographic and environmental data reported by the classification of the Nuclei d'Identità Locale (NIL) operated by the Comune di Milano (2019). The three areas of investigation are respectively related to NIL01-Duomo, NIL02-Brera and NIL21-P.ta Venezia. It is important to note that the two main parks of the centre, Parco Sempione and Giardini Pubblici Indro Montanelli are excluded from the analysis as they are registered in independent NILs. In any case, the data shows a dramatic increase in population density between the first and third zone (NIL01: 7.3 inhabitants/sq.km; NIL02: 11.6 inhabitants/sq.km; NIL03: 21.5 inhabitants/sq.km), while the share of public green areas on the total surface of each NIL remains almost constant (around 9.5%). The scarce presence of public green combined with high values of urbanization (over 95% in all three areas) provides an image of the limits that urban green strategies focused on public space encounter when confronted with the compactness of the historical fabric. Given these considerations, the surfaces of internal courtyards, which represent 13% of the total, are of even greater interest.

In the three areas, punctual on-site inspections were carried out in 96 courtyards to measure: the presence/absence of vegetation; the type of vegetation; the characterization of the soil; and the presence of blind facades (Fig. 5). The results show that 27% of the courtyards do not feature any form of vegetation; even considering the courtyards that present greenery, about half of them only feature potted vegetation, which provides an aesthetic contribution, but does not structurally impact environmental performance (Fig. 6). Only 39 out of 96 courtyards have vegetation integrated into the soil, capable of providing a wider range of benefits and more consistent with the idea of GI. The analysis regarding space usage has also returned results that confirm the current state of underutilization of internal courtyards. Almost 60% of the analysed courtyards are currently used as

parking lots, while only 8% are equipped with seating and designed to encourage social interaction.

**Horizontal and vertical in the Compact City** | A cross-check regarding the feasibility of different types of GI and NbS was carried out based on the collected data. In particular, the typological matrix proposed by Bartesaghi Koc, Osmond and Peters (2016, 2017) was used as a reference; the matrix traces green infrastructure to three main categories, namely vegetation, ground surface, and vertical structures. This framework was combined with a proposed classification of NbS benefits that emerged from the European project GrowGreen (Petsinaris, Baroni and Georgi, 2020). In addition to both references, it was necessary to integrate studies that included the landscape scale back to the more contained dimension of the historic city. For example, concerning the classification of vegetation in evergreen and deciduous plants, it was deemed more appropriate to replace the distinction based on the level of integration used during the inspections, namely potted and groundcover plants.

Table 2 illustrates the resulting matrix that summarizes both the results of the observations and a critical assessment of the potential of different solutions. The structure of the table consists of two distinct sections. The top section is used to return a picture of the situation based on the data collected in the pilot areas. The assignment of a null (0), low (L), medium (M), or high (H) value to the presence of a given component of GI is the result of a comparison between the number of recurrences in the area considered (a, b, c) and the total number of courtyards in the sample (96 courtyards). In the case study, it is possible to notice the prevalence of the ephemeral solution represented by potted vegetation and artificial impermeable surfaces. The second section of the matrix aims to extend the results of the pilot areas to the wider system constituted by the Historic Urban Landscape under examination, in this case, the centre of Milan.

Following the evaluation of the existing areas, requirements and benefits were evaluated to determine the feasibility and potential of each solution. Of the five requirements defined by the authors, two (recognizability and reversibility) refer to the disciplinary field of preservation of architectural heritage and were introduced to assess the possible negative impact of overly invasive interventions on the historical fabric and material characteristics of the built environment. The three requirements of spatial, structural and economic feasibil-

ity aim instead to provide feedback to overcome the application limits of existing strategies. The subsection dedicated to the benefits re-proposes the distinction into environmental, socio-cultural and economic benefits as seen in the GrowGreen project and adapts the evaluation to the new structure proposed for the table.

In the case of Milan, the solution of potted vegetation, which is extremely widespread, is not satisfactory, especially in terms of environmental and economic benefits. Structural solutions that involve the reshaping of the soil present, instead, greater effectiveness, although they are more difficult to reverse. Moreover, in historical contexts, the layer of vegetation, especially if tall-stemmed, presents problems related to the proximity of buildings and the development of the root system. In this sense, reversible solutions such as vertical green can be a viable alternative to regulate thermos-hygrometric parameters and limit temperature increases during the summer. Vertical structures, generally considered incompatible with the architectural heritage due to constraints on the facades, are instead possible in the spaces of interior courtyards and on the partition walls between areas of relevance. Field data recorded the presence of 70 walls and 20 blind facades potentially transformable with green solutions (Fig. 7).

The same cannot be said about green rooftops, whose application is effectively limited both by the scarce presence of flat roofs in historical areas and by the structural inadequacy of the existing ones, as was also evident from the outcomes of the Decumanus project (Comune di Milano, 2016). On the other hand, the soil surfaces present a consistent margin of transformation (Fig. 8). A large prevalence of impermeable artificial soil (around 78%) was recorded in the analysed courtyards, generally related to their use as parking lots. The depaving of the soil and the restoration of permeable surfaces could guarantee an important contribution to stormwater management, relieving the centralized network and reconnecting private spaces to the urban structure, including from a functional point of view. The reintegration of appropriate vegetation in inner courtyards through both approaches, horizontal and vertical, can make a substantial contribution in terms of cooling through evapotranspiration mechanisms (Massetti et alii, 2019) and regulation of surface emissivity (Perini et alii, 2013).

It is worth noting that the proposed table can be translated into a decision-making support tool, applicable to other historic city contexts as well. For example, if a numerical score is given to the qual-

itative indicators (L = 1, M = 2, H = 3) and weights, indicated as 'w' and '1-w', to overall feasibility and overall benefits, then the various solutions can be ranked based on the overall score obtained from the formula: 'w' \* overall feasibility + (1-'w') \* overall benefits. The assignment of the 'w' weight should reflect the importance of the two sub-sections, as assessed by the knowledge of the analysed context.

Regarding Milan, excluding solutions that have a zero value in at least one of the feasibility categories and assigning weight 'w' = 0.6 to the sub-section of overall feasibility and 0.4 to the overall benefits, the preferable solutions are those characterized by the presence of vertical green, in the form of climbing vegetation and living walls, as well as horizontal green, through the transformation of the soil with the inclusion of low and medium vegetation and permeable pavement. The choice of assigning a higher weight to the overall feasibility in the present case is aimed at penalizing acceptable solutions which however feature a low degree of feasibility, such as long-stemmed vegetation.

**Conclusions** | The proposed study provides a suggestion for the extension of urban green infrastructure in historic centres through a case-by-case approach based on the cultural and urban specificities of the context. Consistent with the need to adapt historic areas to the increasing threats of climate change in a dynamic conception of the Historic Urban Landscape (Bandarin and van Oers, 2012), the study suggests a methodological reflection

on the opportunity to reconnect the green infrastructure approach with the traditional relationship between city and nature. In the case study, the illustrated procedure provides a scale of intervention and a spatial context, that of private areas, to extend and adapt the urban green infrastructure to the historic centre.

The outcome of this proposal – i.e., the compatibility matrix between the analysed context and different green solutions – is configured as a versatile tool to be replicated in other contexts, after defining the contours of application based on the preliminary phases of historical and urban analysis of the context. The flexibility of this matrix is at the same time its main merit, as it extends its applicability, but also a critical point, since the results depend greatly on the degree of knowledge of the case: the transformation of qualitative indices into numerical values doesn't necessarily need to replicate the example, and the same is true for the assignment of weights to the categories of feasibility and benefits.

For both sub-sections, moreover, the matrix is potentially expandable through the addition or clarification of certain parameters and indicators: for example, spatial feasibility appears to be strongly linked to urban subsurface conditions, which were not considered in this study, and the assessment of benefits, here mainly drawn from the literature, can be traced back to simulations aimed at more precisely quantifying the real benefits at an environmental level. Finally, further research is needed regarding the economic feasibility of the interven-

tions (Manso et alii, 2021; Vojinovic et alii, 2017) and their inclusion in a coordinated urban policy program (Buijs et alii, 2019).

In conclusion, it is possible to state that the greening of historic centres and the integration of the Historic Landscape into the urban green infrastructure can positively contribute to enhancing and protecting the heritage, in a perspective of dynamic transformation, while remaining respectful of historical and cultural values. To balance the non-permeability and the high density of the built environment in historical contexts, greening strategies face a problem that cannot be solved immediately, but at the same time create research opportunities for a collective rewriting of the relationship between man and nature in the very urban space that has witnessed its evolution over time.

## Acknowledgements

The study was developed in equal measure by the Authors, who declare to have no conflict of interest. Part of the research has been carried out thanks to the support of the H2020-MSCA-RISE YADES project. We would also like to thank Giovanni Barbotti for the constructive discussion regarding vertical solutions.

## Notes

1) Oppla is a digital repository of Nature-based Solutions, the result of a joint activity between the OPERAS and OpenNESS projects, funded by the FP7 programme of the European Commission. More than 60 universities, research institutes, agencies, and companies are collaborating to update it. It collects and classifies experiences and projects of green infrastructure and NBS across Europe. The platform is available online: [oppla.eu/nbs/case-studies](http://oppla.eu/nbs/case-studies) [Accessed 20 April 2022].

2) For more information on Directive 2008/50/EC of the European Parliament and the Council on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe, see the webpage: [eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/LSU/?uri=CELEX:32008L0050](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/LSU/?uri=CELEX:32008L0050) [Accessed 16 April 2022].

## References

Ajuntament de Barcelona (2021), *Barcelona Nature Plan 2021-2030*. [Online] Available at: [bcnroc.ajuntament.barcelona.cat/jspui/handle/11703/122958](http://bcnroc.ajuntament.barcelona.cat/jspui/handle/11703/122958) [Accessed 20 April 2022].

Ajuntament de Barcelona (2017), *Government Measure – Stimulus Programme for the City's Urban Green Infrastructure*. [Online] Available at: [bcnroc.ajuntament.barcelona.cat/jspui/handle/11703/104928](http://bcnroc.ajuntament.barcelona.cat/jspui/handle/11703/104928) [Accessed 20 April 2022].

Ajuntament de Barcelona (2013), *Barcelona Green Infrastructure and Biodiversity Plan 2020*. [Online] Available at: [ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/sites/default/files/Barcelona%20green%20infraestructura%20and%20biodiversitat%20plan%202020.pdf](http://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/sites/default/files/Barcelona%20green%20infraestructura%20and%20biodiversitat%20plan%202020.pdf) [Accessed 20 April 2022].

Andersson, E., Barthel, S., Borgström, S., Colding, J., Elmqvist, T., Folke, C. and Gren, Å. (2014), "Reconnecting cities to the biosphere – Stewardship of green infrastructure and urban ecosystem services", in *Ambio*, vol. 43, issue 4, pp. 445-453. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/s13280-014-0506-y](https://doi.org/10.1007/s13280-014-0506-y) [Accessed 20 March 2022].

Bandarin, F. and van Oers, R. (2012), *The Historic Urban Landscape – Managing Heritage in an Urban Century*, Wiley-Blackwell, Oxford. [Online] Available at: [doi.org/10.1002/9781119968115](https://doi.org/10.1002/9781119968115) [Accessed 20 April 2022].

Bartesaghi Koc, C., Osmond, P. and Peters, A. (2017), "Towards a comprehensive green infrastructure typology – A systematic review of approaches, methods and typologies", in *Urban Ecosystems*, vol. 20, issue 1, pp. 15-35. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/S11252-016-0578-5](https://doi.org/10.1007/S11252-016-0578-5) [Accessed 20 March 2022].

Bartesaghi Koc, C., Osmond, P. and Peters, A. (2016), "A Green Infrastructure Typology Matrix to Support Urban Microclimate Studies", in *Procedia Engineering*, vol. 169, pp. 183-190. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.022](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.10.022) [Accessed 20 March 2022].

Benedict, M. A. and McMahon, E. T. (2006), *Green Infrastructure – Linking landscapes and communities*, Island Press, Washington-Covelo-London.

Buijs, A., Hansen, R., Van der Jagt, S., Ambrose-Oji, B., Elands, B., Rall, L. E., Mattijssen, T., Pauleit, S., Runhaar, H., Stahl Olafsson, A. and Steen Møller, M. (2019), "Mo-

saic governance for urban green infrastructure – Upscaling active citizenship from a local government perspective", in *Urban Forestry and Urban Greening*, vol. 40, pp. 53-62. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.ufug.2018.06.011](https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.06.011) [Accessed 20 March 2022].

City of Amsterdam (2020), *Groenvisie 2020-2050 – Een leefbare stad voor mens en dier*. [Online] Available at: [assets.amsterdam.nl/publish/pages/867639/groenvisie\\_2020-2050\\_1.pdf](https://assets.amsterdam.nl/publish/pages/867639/groenvisie_2020-2050_1.pdf) [Accessed 20 April 2022].

City of Amsterdam (2011), *Structuurvisie Amsterdam 2040 – Economisch sterk en duurzaam*. [Online] Available at: [assets.amsterdam.nl/publish/pages/867639/structuurvisie\\_amsterdam\\_2040\\_2011.pdf](https://assets.amsterdam.nl/publish/pages/867639/structuurvisie_amsterdam_2040_2011.pdf) [Accessed 20 April 2022].

City of Hamburg (2022), *Grün Vernetzen – Fachkarte für das Landschaftsprogramm – Erläuterungen*. [Online] Available at: [hamburg.de/contentblob/12763874/85efe919b45682d9d973d70ee378af0e/data/d-fachkarte-gruen-vernetzen-erlaeuterungen.pdf](https://hamburg.de/contentblob/12763874/85efe919b45682d9d973d70ee378af0e/data/d-fachkarte-gruen-vernetzen-erlaeuterungen.pdf) [Accessed 20 April 2022].

City of Hamburg (2016), *Hamburg – European Green Capital – 5 Years On*. [Online] Available at: [hamburg.de/contentblob/6386544/91e59cfe5ead7ab55b1ff587f65b7ba2/data/brochure.pdf](https://hamburg.de/contentblob/6386544/91e59cfe5ead7ab55b1ff587f65b7ba2/data/brochure.pdf) [Accessed 20 April 2022].

Comune di Milano (2019), *PGT Milano 2030 – Piano dei Servizi*. [Online] Available at: [pgt.comune.milano.it/piano-dei-servizi](http://pgt.comune.milano.it/piano-dei-servizi) [Accessed 20 April 2022].

Comune di Milano (2016), *Tetti verdi potenziali a Milano – DECUMANUS FP7-SPACE*. [Online] Available at: [dati.comune.milano.it/dataset/ds1446\\_tetti-verdi-potenziali](https://dati.comune.milano.it/dataset/ds1446_tetti-verdi-potenziali) [Accessed 20 April 2022].

Coolen, H. and Meesters, J. (2012), "Private and public green spaces – Meaningful but different settings", in *Journal of Housing and the Built Environment*, vol. 27, issue 1, pp. 49-67. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/s10901-011-9246-5](https://doi.org/10.1007/s10901-011-9246-5) [Accessed 20 March 2022].

- Della Spina, L. (2019), "Multidimensional Assessment for Culture-Led and Community-Driven Urban Regeneration as Driver for Trigger Economic Vitality in Urban Historic Centers", in *Sustainability*, vol. 11, issue 24, 7237, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su11247237 [Accessed 20 March 2022].
- EEA – European Environmental Agency (2014), *Spatial analysis of green infrastructure in Europe*, Technical Report, n. 2. [Online] Available at: eea.europa.eu/publications/spatial-analysis-of-green-infrastructure [Accessed 20 March 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/legalcontent/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN [Accessed 20 March 2022].
- European Commission (2013), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Green Infrastructure (GI) – Enhancing Europe's Natural Capital*, document 52013DC0249, 249 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52013DC0249 [Accessed 20 March 2022].
- Frantzeskaki, N. (2019), "Seven lessons for planning nature-based solutions in cities", in *Environmental Science and Policy*, vol. 93, pp. 101-111. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.033 [Accessed 20 March 2022].
- Frantzeskaki, N., McPhearson, T., Collier, M. J., Kendal, D., Bulkeley, H., Dumitru, A., Walsh, C., Noble, K., van Wyk, E., Ordóñez, C., Oke, C. and Pintér, L. (2019), "Nature-Based Solutions for Urban Climate Change Adaptation – Linking Science, Policy, and Practice Communities for Evidence-Based Decision-Making", in *BioScience*, vol. 69, issue 6, pp. 455-466. [Online] Available at: doi.org/10.1093/biosci/biz042 [Accessed 20 March 2022].
- Gandini, A., Garmendia, L. and San Mateos, R. (2017), "Towards sustainable historic cities – Adaptation to climate change risks", in *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, vol. 4, issue 3, pp. 319-327. [Online] Available at: doi.org/10.9770/jesi.2017.4.3S(7) [Accessed 20 March 2022].
- Georgi, J. N. and Dimitriou, D. (2010), "The contribution of urban green spaces to the improvement of environment in cities – Case study of Chania, Greece", in *Building and Environment*, vol. 45, issue 6, pp. 1401-1414. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.12.003 [Accessed 11 June 2022].
- Georgi, N. J. and Zafeiriadis, K. (2006), "The impact of park trees on microclimate in urban areas", in *Urban Ecosystems*, vol. 9, issue 3, pp. 195-209. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11252-006-8590-9 [Accessed 11 June 2022].
- Haaland, C. and van den Bosch, C. K. (2015), "Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification – A review", in *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 14, issue 4, pp. 760-771. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ufug.2015.07.009 [Accessed 20 March 2022].
- Hansen, R., Stahl Olafsson, A., van der Jagt, A. P. N., Rall, E. and Pauleit, S. (2019), "Planning multifunctional green infrastructure for compact cities – What is the state of practice?", in *Ecological Indicators*, vol. 96, pp. 99-110. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.042 [Accessed 20 March 2022].
- Hølleland, H., Skrede, J. and Holmgaard, S. B. (2017), "Cultural Heritage and Ecosystem Services – A Literature Review", in *Conservation and Management of Archaeological Sites*, vol. 19, issue 3, pp. 210-237. [Online] Available at: doi.org/10.1080/13505033.2017.1342069 [Accessed 20 March 2022].
- Manoli, G., Fatichi, S., Schläpfer, M., Yu, K., Crowther, T. W., Meili, N., Burlando, P., Katul, G. G. and Bou-Zeid, E. (2019), "Magnitude of urban heat islands largely explained by climate and population", in *Nature*, vol. 573, pp. 55-60. [Online] Available at: doi.org/10.1038/s41586-019-1512-9 [Accessed 20 March 2022].
- Manso, M., Teotónio, I., Matos Silva, C. and Oliveira Cruz, C. (2021), "Green roof and green wall benefits and costs – A review of the quantitative evidence", in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 135, 110111, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rser.2020.110111 [Accessed 20 March 2022].
- Massetti, L., Petralli, M., Napoli, M., Brandani, G., Orlandini, S. and Pearlmutter, D. (2019), "Effects of deciduous shade trees on surface temperature and pedestrian thermal stress during summer and autumn", in *International Journal of Biometeorology*, vol. 63, pp. 467-479. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s00484-019-01678-1 [Accessed 20 March 2022].
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J. and Behrens III, W. W. (1972), *The limits to Growth*, Universe Books, New York.
- Nadin, V., van der Toorn Vrijthoff, W., Mashayekhi, A., Arjomand Kermani, A., Zhou, J., Pendlebury, J., Miciukiewicz, K., Cowie, P., Scott, M., Redmond, D., Waldron, R. and Parkinson, A. (2015), *A Sustainable Future for the Historic Urban Core*. [Online] Available at: researchgate.net/publication/283726405\_A\_Sustainable\_Future\_for\_the\_Historic\_Urban\_Core [Accessed 20 March 2022].
- Nocca, F. (2017), "The Role of Cultural Heritage in Sustainable Development – Multidimensional Indicators as Decision-Making Tool", in *Sustainability*, vol. 9, issue 10, 1882, pp. 1-28. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su9101882 [Accessed 20 March 2022].
- OECD – Organisation for Economic Cooperation and Development (2015), *Ageing in Cities*. [Online] Available at: doi.org/10.1787/9789264231160-en [Accessed 20 March 2022].
- Pendlebury, J. R. (2009), *Conservation in the age of consensus*, Routledge, London.
- Perini, K., Ottelé, M., Haas, E. M. and Raiteri, R. (2013), "Vertical greening systems, a process tree for green façades and living walls", in *Urban Ecosystems*, vol. 16, pp. 265-277. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11252-012-0262-3 [Accessed 20 March 2022].
- Petsinaris, F., Baroni, L. and Georgi, B. (2020), *Grow-Green compendium of nature-based solutions to address climate and water-related problems in European cities*. [Online] Available at: growgreenproject.eu/wp-content/uploads/2020/04/Compendium-of-NBS-and-grey-solutions.pdf [Accessed 20 March 2022].
- Poortinga, W., Bird, N., Hallingberg, B., Phillips, R. and Williams, D. (2021), "The role of perceived public and private green space in subjective health and wellbeing during and after the first peak of the Covid-19 outbreak", in *Landscape and Urban Planning*, vol. 211, 104092, pp. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104092 [Accessed 20 March 2022].
- Rowe, P. G. and Hee, L. (2019), *A City in Blue and Green*, Springer Open, Singapore.
- Seddon, N., Smith, A., Smith, P., Key, I., Chausson, A., Girardin, C., House, J., Srivastava, S. and Turner, B. (2021), "Getting the message right on nature-based solutions to climate change", in *Global Change Biology*, vol. 27, issue 8, pp. 1518-1546. [Online] Available at: doi.org/10.1111/gcb.15513 [Accessed 20 March 2022].
- Steiner, F., Simmons, M., Gallagher, M., Ranganathan, J. and Robertson, C. (2013), "The ecological imperative for environmental design and planning", in *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 11, pp. 355-361. [Online] Available at: doi.org/10.1890/130052 [Accessed 20 March 2022].
- Swensen, G. (2020), "Tensions between Urban Heritage Policy and Compact City Planning – A Practice Review", in *Planning Practice & Research*, vol. 35, issue 5, pp. 555-574. [Online] Available at: doi.org/10.1080/02697459.2020.1804182 [Accessed 20 March 2022].
- Tzortzi, J. N., Guaita, L. and Kouzoupi, A. (2022), "Sustainable Strategies for Urban and Landscape Regeneration Related to Agri-Cultural Heritage in the Urban-Periphery of South Milan", in *Sustainability*, vol. 14, issue 11, 6581, pp. 1-25. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su14116581 [Accessed 11 June 2022].
- UN – United Nations (2019), *World Population Prospects 2019 – Highlights*. [Online] Available at: population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019\_Highlights.pdf [Accessed 20 March 2022].
- UNESCO (2011), *Recommendation on the Historic Urban Landscape, including a glossary of definitions*. [Online] Available at: whc.unesco.org/en/hul/ [Accessed 20 March 2022].
- Vitillo, P. (1997), "Amburgo, metropoli verde", in *Territorio*, vol. 4, pp. 71-82. [Online] Available at: re.public.polimi.it/retrieve/handle/11311/687012/241551/Vitillo\_Amburgo\_metropoli\_verde\_Territorio\_n\_4\_97.pdf [Accessed 20 April 2022].
- Vojinovic, Z., Keeramamolchai, W., Weesakul, S., Pudar, R., Medina, N. and Alves, A. (2017), "Combining Ecosystem Services with Cost-Benefit Analysis for Selection of Green and Grey Infrastructure for Flood Protection in a Cultural Setting", in *Environments*, vol. 4, issue 1, article 3, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.3390/environments4010003 [Accessed 20 April 2022].
- Wolch, J. R., Byrne, J. and Newell, J. P. (2014) "Urban green space, public health, and environmental justice – The challenge of making cities just green enough", in *Landscape and Urban Planning*, vol. 125, pp. 234-244. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.017 [Accessed 20 March 2022].

## ECOLOPES, OLTRE L'INVERDIMENTO

Un approccio multi-specie per lo spazio urbano

## ECOLOPES, BEYOND GREENING

A multi-species approach for urban design

Maria Canepa, Francesca Mosca, Shany Barath, Alexandre Changenet, Thomas E. Hauck, Ferdinand Ludwig, Marta Pianta, Enrica Roccotiello, Surayyn Uthaya Selvan, Verena Vogler, Katia Perini

### ABSTRACT

Il fenomeno dell'urbanizzazione spesso impatta negativamente sugli ecosistemi, causando la perdita della biodiversità, incidendo negativamente sul cambiamento climatico e di conseguenza sulla salute e sul benessere dell'uomo. Per ridurre l'impatto ambientale degli edifici le attuali strategie di progettazione, sia a scala urbana che a quella dell'edificio, mirano all'integrazione di sistemi 'verdi', concentrandosi principalmente sui potenziali benefici per l'uomo. Altre specie, come gli animali e i microorganismi, o altri fattori, come lo sviluppo autonomo e dinamico delle comunità vegetali, non sono generalmente presi in considerazione nel processo di pianificazione, sebbene possano svolgere un ruolo centrale nell'aumento della biodiversità. Questo articolo descrive come il progetto ECOLOPES supera questa visione strettamente antropocentrica, sviluppando un approccio progettuale sistemico, in una prospettiva multi-specie per creare ecosistemi urbani rigenerativi.

Urbanisation, due to its contribution to climate change and loss of biodiversity, damages ecosystems, thereby affecting human health and well-being. Current urban and architectural design approaches, that aim to reduce the environmental impact of buildings, include, among other strategies, the integration of greening systems but focusing primarily on the potential benefits for humans. Other organisms such as animals and microbiota and the self-dynamic development of plant communities, which could play a central role in increasing biodiversity, are not considered in the planning process. This paper describes how the ECOLOPES project overcomes this strictly anthropocentric view, developing a systematic design approach for architecture in a multi-species perspective to create regenerative urban ecosystems.

### KEYWORDS

design multi-specie, approccio multicriteria, convivenza, approccio progettuale sistemico, ecosistema

multi-species design, multi-criteria approach, co-habitation, systematic design approach, design for ecosystems

**Maria Canepa**, Assistant Professor, University of Genoa (Italy).

**Francesca Mosca**, PhD Candidate, University of Genoa (Italy).

**Shany Barath**, Assistant Professor, Technion Israel Institute of Technology (Israel).

**Alexandre Changenet**, Researcher Fellow, University of Genoa (Italy).

**Thomas E. Hauck**, Professor, Technical University of Vienna (Austria).

**Ferdinand Ludwig**, Professor, Technical University of Munich (Germany).

**Enrica Roccotiello**, Assistant Professor, University of Genoa (Italy).

**Marta Pianta**, PhD Candidate, University of Genoa (Italy).

**Surayyn Uthaya Selvan**, PhD Candidate, Technion-Israel Institute of Technology (Israel).

**Verena Vogler**, Researcher at R&D McNeel Europe (Spain).

**Katia Perini**, Assistant Professor, University of Genoa (Italy).

L'aumento della densità urbana e delle emissioni di gas climalteranti di natura antropica stanno impattando negativamente e in modo significativo sulla qualità ambientale delle città (IPCC, 2022) che sono aree densamente popolate, caratterizzate da un'elevata pressione antropica, con spazi verdi limitati e che presentano una frammentazione degli habitat spesso con uno scarso livello di connettività, e conseguente perdita di biodiversità locale (Aronson et alii, 2017; Lepczyk et alii, 2017). La varietà dei servizi ecosistemici (cioè i benefici che le persone traggono dagli ecosistemi) in una città dipende dalla dimensione, dal numero e dalla qualità dei suoi spazi verdi urbani (McPhearson et alii, 2015), i quali svolgono anche un ruolo fondamentale per la salute e il benessere dell'uomo (Barton and Pretty 2010). Svariate ricerche hanno dimostrato che le attuali strategie di pianificazione (e governance) urbane raramente prendono in considerazione gli ecosistemi urbani e il loro valore nel supportare la biodiversità locale in termini di qualità, quantità e densità (McPhearson et alii, 2015; Fineschi and Loreto, 2020). Inoltre la maggior parte delle aree urbane deve affrontare importanti minacce in relazione alla scarsa qualità dell'aria (EEA, 2020), all'effetto isola di calore (Singh, Singh and Mall, 2020) e, in generale, al deterioramento delle risorse idriche e degli ecosistemi (Rees, 1997). Per limitare questi problemi negli ultimi decenni è stato introdotto il concetto di 'infrastruttura verde', che gradualmente cresce e reintroduce la vegetazione nell'ambiente costruito. Questa strategia progettuale ha come obiettivo quello di porre il 'verde' sul 'grigio', combinando la vegetazione con l'ambiente costruito, e di mitigare gli effetti dell'urbanizzazione (Naylor et alii, 2017; Ambasz in Pisani, 2006).

Diversi approcci, che possono comprendere anche l'introduzione di soluzioni basate sulla natura (IUCN, 2016), si concentrano principalmente sull'espletamento delle funzioni ottimali per gli esseri umani (ad esempio, comfort termico, benessere psicologico, ecc.), ignorando le funzioni ecologiche (intese come un insieme di ruoli ecologici svolti da ciascuna specie nel proprio ecosistema) delle altre componenti biotiche (Fineschi and Loreto, 2010), limitandosi così a seguire un approccio progettuale esclusivamente antropocentrico. È quindi improbabile che offrano soluzioni innovative che rispondano ai bisogni delle specie non umane che vivono negli ambienti urbani (Fig. 1). Il presente paper ha l'obiettivo di delineare come il Progetto Horizon 2020 FET (Future and Emerging Technologies) Open project ECOLOPES (Ecological building enveLOPES) miri a sviluppare un approccio innovativo per la progettazione di un involucro edilizio avanzato in grado di supportare una rigenerazione urbana inclusiva, attraverso una modellazione dell'ambiente urbano e nuove informazioni disponibili per la progettazione, al fine di superare l'attuale approccio antropocentrico che si focalizza principalmente solo sul ruolo svolto dalla vegetazione. Per raggiungere gli obiettivi del progetto, il Partenariato di ECOLOPES<sup>1</sup> è rappresentato da ricercatori ed esperti in diversi campi: architettura, ecologia e informatica (Fig. 2).

**Stato dell'arte** | L'uso del verde negli spazi urbani ha sempre avuto molteplici funzioni: simbolica, estetica, oppure di fornitura di servizi ecosistemici; ad esempio, attraverso il suo impiego si può re-

golare il microclima o fornire spazi produttivi come orti e frutteti (Canepa, 2018). Il verde urbano rappresenta inoltre un'opportunità per immagazzinare anidride carbonica, ma allo stesso tempo la piantumazione richiede uno spazio che non è sempre disponibile in un tessuto urbano quasi completamente saturo. Le attuali strategie di inverdimento degli edifici si concentrano principalmente su soluzioni che migliorano le prestazioni e il comfort per l'uomo, utilizzando quantità relativamente piccole di suolo e una selezione limitata di specie vegetali (Fernández-Cañero, Pérez Urrestarazu and Perini, 2018; Pérez and Coma, 2018), molto spesso senza considerare la presenza di altri organismi viventi, come gli animali. Inoltre, nell'approccio progettuale non viene considerata la presenza di comunità biotiche non umane, che co-evolvono e crescono con l'involucro edilizio: vengono così impediti o fortemente limitati il susseguirsi delle specie vegetali e il relativo sviluppo di altre comunità biotiche mentre il verde viene mantenuto in condizioni statiche innaturali che richiedono elevati costi di manutenzione e contrastano lo sviluppo della biodiversità locale (Schrieke et alii, 2021).

Gli attuali approcci alla pianificazione, alla progettazione urbana e all'architettura raramente considerano l'equilibrio ecologico, la vegetazione spontanea e la fauna selvatica e, anche se lo fanno, li limitano e ne regolano lo sviluppo. Questo è facilmente comprensibile dopo uno sguardo alla moderna pianificazione urbana che nasce per definire razionalmente la città moderna sulla base delle conoscenze scientifiche e del progresso tecnologico. L'obiettivo è sempre stato quello di creare spazi civili di dominio umano sulla natura, dominando le forze e dalle contingenze naturali. L'idea tradizionale di una dicotomia tra natura e città, così come tra natura selvaggia e civiltà, porta a differenziazioni conflittuali tra gli spazi (Philo and Wilbert, 2000; Urbanik, 2012) quando, ad esempio, gli spazi che gli animali occupano e utilizzano (beastly places)<sup>2</sup> sono esclusivamente spazi concessi dall'uomo (animal spaces).

Un tipico esempio di processo progettuale in ambito architettonico è rappresentato nella Figura 3. Il committente, in quanto rappresentante della specie umana (ad esempio l'utente futuro) formula le richieste progettuali dalla sua prospettiva antropocentrica, definendo, ad esempio, le superfici, le funzioni, ecc. Successivamente l'architetto sintetizza gli obiettivi progettuali e formula le prime bozze da proporre al committente; solo nelle ulteriori fasi di progettazione le consulenze, tipicamente legate agli aspetti strutturali o impiantistici, vengono integrate nel progetto. Quando necessario, la proposta progettuale viene modificata in base alle consulenze ricevute.

Se facciamo riferimento alle infrastrutture verdi applicate al progetto architettonico, questa è la fase in cui entrano in gioco i consulenti esperti del verde; nel caso della valorizzazione della biodiversità occorrerà consultare anche degli ecologi. Tuttavia, nel processo di progettazione 'tradizionale' presentato, gli aspetti riguardanti l'inverdimento e la biodiversità sono spesso un'aggiunta secondaria alla progettazione esistente, piuttosto che una parte intrinseca del processo. Pertanto, per progettare efficacemente degli ecosistemi urbani rigenerativi, è necessario considerare tutte le specie viventi: un tale approccio progettuale multi-specie (l'approccio di ECOLOPES) è quindi in

contrasto con la tradizionale prospettiva antropocentrica che si può osservare oggi nella progettazione sia a scala urbana che edilizia.

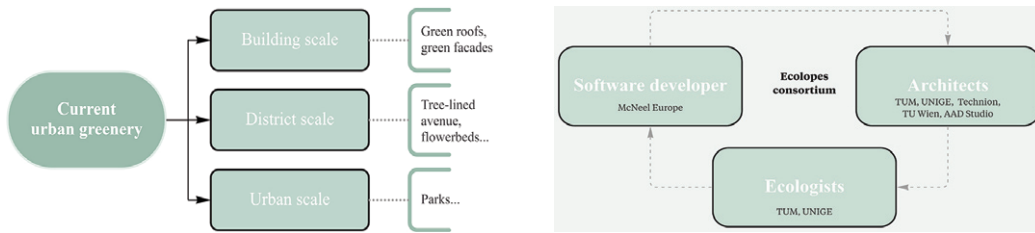
**Obiettivi** | ECOLOPES propone un cambiamento radicale per la progettazione della città e degli edifici: invece di ridurre l'impatto negativo dell'urbanizzazione sulla natura, l'approccio viene ribaltato, applicando all'urbanizzazione i principi regolativi che esistono in natura. L'obiettivo è quello di concentrarsi in egual misura su esseri umani, piante, animali e organismi microbici. L'approccio di ECOLOPES si concentra sull'involucro dell'edificio, elemento strutturale che separa l'interno dall'esterno, che può svilupparsi sia in orizzontale che verticale, per riformulare e superare l'idea di tetto verde o di facciata verde, e le loro relative tecnologie. Inoltre, progettare un involucro ecologico è più completo che progettare tetti o facciate verdi, perché un involucro ecologico è inteso come uno spazio tridimensionale, caratterizzato da una maggiore quantità di suolo, in grado di ospitare molte più specie viventi rispetto ai tradizionali sistemi di inverdimento (Figg. 4-8).

Gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile 11, 13 e 15 delle Nazioni Unite si concentrano sulle città sostenibili, sulla lotta ai cambiamenti climatici e sul ripristino degli ecosistemi, evidenziando l'importanza dell'integrazione e della conservazione della componente biotica nell'ambiente urbano (UN, 2015; Fig. 9). In questo contesto gli involucri edilizi offrono un approccio efficace alla rigenerazione degli ecosistemi urbani, anche in un ambiente urbano molto denso, per questo motivo un 'ecolope'<sup>3</sup> è un involucro edilizio pensato e progettato come uno spazio abitativo per specie viventi. Prevedendo un approccio olistico il concetto va oltre la mera fornitura di servizi ecosistemici (Figg. 10, 11) che sono raggruppabili in quattro categorie principali: approvvigionamento, regolazione, valori culturali e servizi a supporto degli esseri umani (MEA 2005), mentre l'approccio ECOLOPES include in questa prospettiva animali, specie vegetali e microbiche, apportando benefici a tutti i suoi stakeholders.

**Metodologia** | Per raggiungere l'approccio progettuale non antropocentrico descritto, il progetto è stato strutturato in cinque fasi di lavoro principali che prevedono, in periodo di quattro anni, lo sviluppo del nuovo processo progettuale, supportato da uno strumento di progettazione dedicato. Al momento il progetto è al termine del primo anno di attività di ricerca e i primi risultati sono in fase di validazione. Le fasi della ricerca sono le seguenti: architettura della piattaforma ECOLOPES, acquisizione dati e modellazione delle informazioni, modello voxel e computazionale ECOLOPES, simulazioni e analisi computazionali, validazione generale (Fig. 12). Per affrontare l'approccio ECOLOPES, è stato definito un nuovo workflow per rappresentare l'approccio non antropocentrico e multi-specie durante tutte le fasi di progettazione che a differenza di quello 'tradizionale' prevede il coinvolgimento di tutti gli stakeholders, anche quelli non umani (piante, animali e microbiota; Fig. 13).

Gli stakeholders non umani e i loro bisogni sono rappresentati dagli ecologisti per sigillarne adeguatamente il ruolo paritario rispetto alle parti umane interessate e considerare anch'essi 'clienti' di Ecologies: questo per esprimere come i biso-





Traditional design workflow - human centered perspective

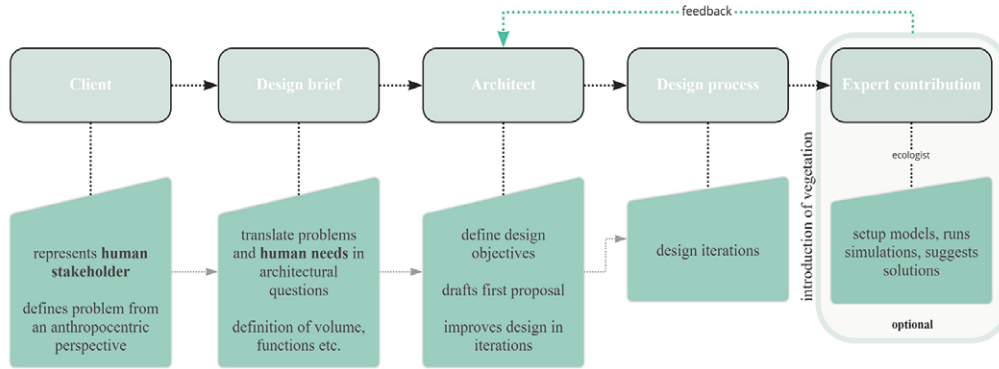


Fig. 1 | Current urban greenery (credit: F. Mosca and M. Canepa, 2022).

Fig. 2 | ECOLOPES Consortium members (credit: F. Mosca and M. Canepa, 2022).

Fig. 3 | Traditional design workflow with a human-centred perspective (credit: F. Mosca and F. Ludwig, 2022).

gni degli stakeholder non umani siano considerati importanti tanto quanto quelli degli stakeholder umani. Come i bisogni umani quelli ecologici vengono tradotti in una commessa progettuale per consentire al progettista di definire gli obiettivi generali di progettazione implementando requisiti e caratteristiche delle parti interessate non umane all'interno del flusso di lavoro di progettazione: ecologi e pianificatori specializzati nel verde forniscono dati e li rendono disponibili in un processo di progettazione basato su di essi. Il nuovo processo progettuale per un approccio multi-specie offre maggiori possibilità di ottenere soluzioni multi-specie autentiche poiché i loro requisiti sono diventati una parte intrinseca del progetto (Fig. 14).

Tale approccio multi-specie è decisamente più complesso rispetto a quello tradizionale e comporta una varietà di compromessi e decisioni che non possono essere risolti con strumenti di pianificazione consolidati. Per gestire questo livello di complessità si sono rivelate efficaci le strategie decisionali multi-criteri, poiché grazie alla loro flessibilità metodologica permettono di considerare dati multidisciplinari e qualitativi oltre che quantitativi (Gnanasekaran and Venkatachalam, 2019; Mela, Tiainen and Heinisuo, 2012) provenienti dalle diverse parti interessate. Gli attuali sistemi tradizionali di supporto alle decisioni nel settore delle costruzioni incoraggiano il processo decisionale interdisciplinare (Tan et alii, 2021; Guarini, Battisti and Chiovitti, 2018) facilitando anche la selezione di materiali sostenibili o le strategie di progettazione, sebbene spesso sia rivolto solo a obiettivi di natura antropocentrica come le prestazioni dell'edificio in termini di consumo energetico o costo del ciclo di vita (Moghtadernejad, Chouinard and Mirza, 2020; Mathiyazhagan, Gnanavelbabu and Lokesh Prabhuraj, 2019). Quando le comunità non umane sono considerate come parti interessate di pari importanza, il processo di progettazione viene ulteriormente arricchito, riducendo la propensio-

ne verso obiettivi esclusivamente incentrati sull'uomo, per supportare un processo decisionale più sostenibile.

Per raggiungere questo obiettivo, all'interno dell'approccio ECOLOPES, un ruolo centrale sarà svolto dalle simulazioni attraverso un Modello Informativo che integra le conoscenze ecologiche e architettoniche e le rende disponibili per la progettazione. Questo modello si basa in parte sull'accoppiamento di diversi modelli ecologici (suolo-microbiota, piante e animali), che confluiscono in un 'super' modello ecologico. Il modello computazionale simula la dinamica temporale e spaziale di animali, piante e sviluppo del suolo in funzione di condizioni abiotiche; tali condizioni possono riguardare i tipi di suolo (a seconda della profondità, del contenuto idrico) o la disponibilità di luce per le piante o di cibo per gli animali; le simulazioni prendono in considerazione anche le interazioni biotiche come la gestione umana, la predazione degli animali, la dispersione delle piante o l'approvvigionamento dell'habitat.

Il risultato del modello è una previsione del tipo di suolo, della quantità di piante e di aree 'residenziali' per gli animali nel tempo e nello spazio. Le interazioni con i parametri architettonici saranno ulteriormente accoppiate a questo 'super modello' attraverso le conoscenze acquisite da una serie di esperimenti computazionali e da una revisione della letteratura. Tali simulazioni e le informazioni che ne conseguono aiutano a identificare le relazioni tra architettura ed ecologia e il modo in cui si influenzano a vicenda, per ottenere una progettazione più efficace delle 'infrastrutture verdi' in ambito urbano, concretizzandosi in diverse configurazioni di 'ecolope' (come l'inclinazione di una facciata possa influire sulla connettività degli animali o il posizionamento di terreno per coltivare piante).

Pertanto, integrando queste informazioni in un sistema CAD (Computer-Aided Design), vi è la possibilità di costruire un adeguato sistema di racco-

mandazioni per la progettazione che consenta lo sviluppo iterativo della progettazione con strategie decisionali multi-criteri. Questo nuovo approccio arricchisce il workflow progettuale di ECOLOPES con informazioni, in modo da prendere decisioni più precise a favore di tutte le parti interessate (uomo, piante, animali, microbi) e per una progettazione più efficace delle 'infrastrutture verdi' negli ambienti urbani.

Il processo ECOLOPES MCDM (Multi-Criteria Decision Making) si basa sia sulla strategia MADM (Multi-attribute decision-making) che sulla MODM (Multi-Objective Decision-Making)<sup>4</sup> per generare un flusso di lavoro che sia in grado di integrare informazioni di tipo multidisciplinare nel campo dell'ecologia e dell'architettura. A tal proposito i KPIs (Key Performance Indicators) rappresentano i criteri di valutazione degli obiettivi, i bisogni dei vari stakeholder e le performance ambientali degli edifici. Rispetto alle strategie di ottimizzazione (MOO - Multi-Objective Optimization), le alternative progettuali saranno valutate attraverso le soglie generate dai valori KPIs ottimizzati per garantire che i progetti rientrino nell'intervallo delle soluzioni accettabili. Inoltre, l'integrazione della MADM consentirà di assegnare dei pesi ai KPIs, derivati da conoscenze di esperti o dalla letteratura. Non solo questa strategia consentirà di ordinare e classificare le alternative di progettazione generate, ma fornirà anche l'opportunità di ridefinire le gerarchie e le priorità dei KPIs che sono derivate dagli obiettivi di progettazione, agevolando anche la valutazione dei KPIs su diversi insiemi di condizioni architettoniche ed ecologiche.

Per consentire un tale approccio, diversi dati, modelli e applicazioni devono essere concatenati in modo tale che solo i dati rilevanti siano resi disponibili all'utente (progettista, ecologista, urbanista che si interfaccia con un sistema CAD, ecc.), pertanto è necessario elaborare un flusso di lavoro che rifletta in primo luogo il modo in cui l'utente si interfaccerebbe con un tale sistema e, in secondo luogo, come i componenti principali del sistema (modello informativo e ambiente di simulazione computazionale) possano collaborare per fornire le informazioni richieste per lo sviluppo di un sistema di supporto decisionale multicriteri per il progetto.

**Ulteriori risultati e coinvolgimento degli stakeholder** | La ECOLOPES Design Platform integrerà tutte le componenti (Modello Informativo, Ambiente di Simulazione) e gli strumenti di progettazione accessibili e personalizzati (realizzati come plug-in in un'applicazione CAD standard in Rhino e Grasshopper) grazie ai quali architetti e progettisti potranno interfacciarsi con il nuovo approccio. Lo sviluppo di tale piattaforma includerà un'indagine per esplorare come i dati possano essere classificati, collegati e rappresentati, in primo luogo come un modello di dati combinato spazio-temporale e poi come un modello 3D di voxel in CAD. L'obiettivo principale di tale piattaforma computazionale è fornire supporto nel processo decisionale e coordinamento sistemico delle azioni di pianificazione in contesti multi-specie.

I principali gruppi target in termini di applicazione pratica della tecnologia proposta per la progettazione (modello computazionale) saranno architetti, ingegneri e studenti, insieme alle loro organizzazioni professionali, agli studi di architettura e ingegneria e a tutti i professionisti del settore edi-

le. Gli architetti del paesaggio, gli urbanisti e gli ecologi, ma anche le Amministrazioni locali, saranno informati sulla potenziale applicazione dello strumento di progettazione ECOLOPES, per migliorare le strategie di governance; ECOLOPES sarà importante anche per gli ecologisti e le ONG a tema ambientale. Infine, i risultati del progetto potrebbero essere diffusi tra i medici e i professionisti nel settore della salute, dato l'impatto previsto sul benessere degli abitanti degli edifici e sul miglioramento della salute umana.

**Conclusioni** | In sintesi l'approccio progettuale di ECOLOPES consente agli architetti di prendere potenzialmente in considerazione diverse parti interessate, tra cui flora e fauna, e definire le loro esigenze specifiche, senza tralasciare vincoli normativi e requisiti tecnici per la sua attuazione. Rispetto al tema del 'verde', l'avanzamento di ECOLOPES rispetto agli approcci attuali è l'introduzione delle competenze ecologiche (es. approccio ecosistemico, relazioni multi-trofiche) sin dalle prime fasi del progetto (es. definizione della commessa progettuale da un punto di vista non umano). Il progetto ECOLOPES mette in risalto l'importanza di un approccio interdisciplinare e della presenza degli ecologisti nell'intero processo di progettazione, sfruttando le loro conoscenze specialistiche non solo in fasi specifiche (Fig. 15), ma durante tutte le fasi progettuali del processo.

Le informazioni acquisite dai modelli ecologici costituiranno una base di conoscenza disponibile per la progettazione in ambiente CAD, che costituirà l'ambiente di interfaccia gestito dal progettista. La selezione dei KPIs, attraverso la procedura di ottimizzazione precedentemente descritta, renderà il processo decisionale più efficace. Considerando l'attuale crisi ambientale e la sfida degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile, la scelta di soluzioni mirate e multi-specie potrebbe permettere il superamento dell'attuale paradigma antropocentrico che guida la progettazione urbana. Tuttavia, in questa proposta si possono individuare alcuni limiti e alcune sfide: in primo luogo, l'approccio della ricerca è molto complesso a causa dei molteplici sotto-metodi e tecniche di simulazione che devono essere sviluppati e fusi in un unico sistema che possa potenzialmente soddisfare ciò che è stato promesso o immaginato in fase di stesura del progetto. Potrebbe non essere possibile rendere l'intero processo di modellazione e condivisione delle informazioni completamente automatizzato: parti di esso rimarranno probabilmente operazioni da svolgere in modalità manuale.

La seconda sfida della ricerca riguarda i processi computazionali all'interno del progetto. Considerando i possibili limiti in relazione alle simulazioni dei modelli, esse possono essere fortemente influenzate dal numero e dalle dimensioni dei vari dataset, dalla potenza di elaborazione richiesta per il calcolo dei modelli, dalla geometria, nonché dagli scopi di analisi e di simulazione. Tale sfida può essere affrontata unificando i gruppi di dati e i formati dei file, semplificandoli tramite il cloud computing che consente di usufruire, tramite un server remoto, di risorse software e hardware. La terza sfida è relativa all'utente finale: il designer che si interfacerà con la piattaforma ECOLOPES attraverso il software (o altri strumenti di front-end). Il progettista sarà quello che fornirà il riscontro più cruciale per convalidare l'approccio generale. Il suo

feedback sarà necessario per capire se il sistema immaginato soddisfa il suo scopo, supportando la progettazione di ambienti urbani che promuovano effettivamente ecosistemi rigenerativi all'interno delle nostre città future.

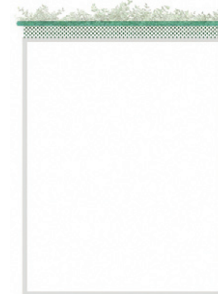
Nelle prossime fasi della ricerca (i primi risultati sono in fase di validazione), una serie di esperimenti computazionali semplificati contribuiranno a testare le diverse componenti di ECOLOPES e a costruire conoscenze in grado di fornire feedback al sistema (ad esempio, relazioni tra geometria dell'edificio e caratteristiche ecologiche). Infine il progetto avvierà anche un processo di validazione generale dell'approccio utilizzando prototipi pilota collocati nel mondo reale (building blocks) che dimostrerà l'efficacia dell'approccio progettuale multi-specie. Tali prototipi saranno collocati in quattro diverse città, in diversi Paesi, per determinare se alcune delle soluzioni progettuali selezionate rappresentano effettivamente un approccio multi-specie come simulato dai modelli o se l'approccio deve essere ulteriormente ottimizzato.

Densification and anthropogenic emission are significantly degrading urban environments and urban ecosystems (IPCC, 2022). Cities are densely populated areas, characterised by a high level of anthropic pressure, limited green spaces, habitat fragmentation with a poor level of connectivity and local biodiversity loss (Aronson et alii, 2017; Lepczyk et alii, 2017). The whole diversity of ecosystem services (i.e., the benefits people derive from ecosystems) in a city depends on the dimension, number, and quality of its urban green spaces (McPhearson et alii, 2015), which also play a pivotal role in human health and well-being (Barton and Pretty 2010). Research has shown that current urban planning (and governance) strategies rarely consider urban ecosystems and their value in supporting local biodiversity, in terms of quality, quantity and density (McPhearson et alii, 2015; Fineschi and Loreto, 2020). Additionally, most urban areas face important threats in relation to poor air quality (EEA, 2020), heat-island effect (Singh, Singh and Mall, 2020) and, overall, the deterioration of water resources and ecosystems (Rees, 1997). To limit these problems in recent decades, the concept of 'green infrastructure' has been introduced, gradually growing and reintroducing vegetation into the built environment. This design strategy attempts to put green over grey, combining vegetation with the built environment, trying to mitigate urbanization effects (Naylor et alii, 2017; Ambasz in Pisani, 2006).

Several approaches, which may include the introduction of nature-based solutions (IUCN, 2016), are primarily focused on fulfilling functions for humans (e.g., thermal comfort, psychological well-being, etc.), ignoring ecological functions (a set of ecological roles performed by each species in their ecosystem) of the other biotic components (Fineschi and Loreto, 2010), hence continuing to follow an anthropocentric design approach. They are therefore unlikely to offer breakthrough solutions that would address the needs of non-human species living in urban environments (Fig. 1). This paper outlines how the Horizon 2020 FET (Future and Emerging Technologies) Open project ECOLOPES (ECOLOGical building enveLOPES) aims to develop a pioneering design approach for an ar-

chitecture that supports an inclusive regeneration of urban ecosystems, including modelling the urban environment and making this information available for design, moving forward from current anthropocentric approaches which focus mainly on the role played by vegetation. To fulfil the project objectives, the ECOLOPES Consortium<sup>1</sup> is represented by researchers and experts from different fields: architecture, ecology, and computer science (Fig. 2).

**State of the art** | Greenery in urban spaces has multiple functions: symbolic, aesthetic, ecosystem services provision – e.g., for regulating the microclimate or providing productive space with vegetable gardens and orchards (Canepa, 2018). Urban greenery is an opportunity for storing carbon dioxide, but at the same time, planting requires a space that is not always available in an almost fully occupied urban fabric. The currently prevailing paradigm for green buildings focuses mainly on solutions that improve performance and comfort for humans, using relatively small amounts of soil and a limited selection of plant species (Fernández-Ca-



**Fig. 4** | Green roof scheme (credit: F. Mosca and M. Canepa, 2022).

**Fig. 5** | Ewha Woman's University in Seoul designed by Dominique Perrault (credit: A. Morin, 2008; source: archdaily.com).

**Fig. 6** | Green façade scheme (credit: F. Mosca and M. Canepa, 2022).

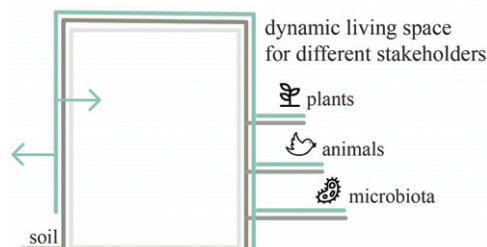
ñero, Pérez Urrestarazu and Perini, 2018; Pérez and Coma, 2018), very often without considering the presence of other organisms such as animals. In addition, the possibility of non-human biotic communities, co-evolving and growing with the building envelope, is not considered in the design approach. The succession of vegetation and the associated development of other biotic communities is thus prevented or severely restricted. The greenery is therefore maintained in unnatural static conditions which require high maintenance costs and counteracts the development of local biodiversity (Schrieke et alii, 2021).

Current approaches in urban planning, urban design, and architecture rarely consider ecological balance, spontaneous vegetation and wildlife and even if they do so, they limit and regulate them. This is easily understood after a look at the emergence of modern urban planning. The discipline was set up to rationally produce the modern city based on scientific knowledge and technological progress. The goal was to create civilised spaces of human mastery over nature, thereby gaining freedom from the forces and contingencies of nature. The traditional idea of a dichotomy between nature and city, as well as wilderness and civilisation, lead to conflictual differentiations between the spaces (Philo and Wilbert, 2000; Urbanik, 2012) where, for example, animals and the spaces that they occupy,

and use (beastly places)<sup>2</sup> are granted by humans (animal spaces).

An example of a workflow for the current design approach in architecture is shown in Figure 3. The client, as a representative of human stakeholders (i.e., the future user) formulates the design brief from a human perspective, for instance, by defining the necessary floor space, functions, etc. In the following steps, the architect derives the design objectives and sketches as initial design proposals for the client. In the further design process, expert knowledge from external consultants, typically structural or climate engineers, is incorporated into the design. If necessary, the design proposal is adjusted based on the feedback from the consultant.

In the case of green architecture, this is where very often green consultants such as experts in building greening come into play. In the case of e.g., biodiversity enhancement, ecologists are also consulted at this point. However, in the presented ‘traditional’ design workflow, aspects regarding greening and biodiversity are rather an addition to the existing design, than an intrinsic and equal part of the design process. Thus, for a successful design of regenerative urban ecosystems all species need to be considered. Such a multi-species design approach (the ECOLOPES approach) stands in contrast to the traditional anthropocentric perspective that can be observed in architecture and urban planning today.



**Fig. 7** | Indirect greening system in Dordrecht designed by EGM Architecten (credit: K. Perini, 2010).

**Fig. 8** | Ecological building envelope as a dynamic living space for different species (credit: F. Mosca, M. Canepa, S. Barath, E. Roccotiello, K. Perini and F. Ludwig, 2022).

**Research Objectives** | ECOLOPES proposes a radical change in city and building design: instead of minimizing the negative impact of urbanisation on nature, the approach is overturned, applying the regulatory principles that occur in nature to urbanisation. It focuses equally on humans, plants, animals, and associated organisms such as microbiota. The ECOLOPES approach refers to the envelope, a structural element that separates the indoor from the outdoor, and that is developed both in horizontal and vertical dimensions, to reformulate and overcome the idea of a green roof or a green façade, and their ‘traditional’ envelope technologies and performances. Furthermore, designing an ecological envelope is more comprehensive than designing green roofs or facades, because an ecological envelope is understood as a three-dimensional space, and characterised by an increased amount of soil that would host much more living species than in traditional greening systems (Figg. 4-8).

The United Nations SDGs (Sustainable Development Goals) 11, 13, and 15 focus on sustainable cities, climate change management and protection and restore ecosystems and highlight the importance of integration and conservation of biotic component in the urban environment (UN, 2015; Fig. 9). In this context, building envelopes offer an effective approach to the regeneration of urban ecosystems, even in a very dense urban environment. For this reason, an ecotope<sup>3</sup> is a building envelope designed as a living space for multi-species. As a holistic approach, the concept goes beyond the provision of ecosystem services (Figg. 10, 11). Ecosystem services are initially divided into the four main categories: provisioning, regulating, cultural and support services for a human-centred perspective (MEA 2005), while the ECOLOPES approach also includes the animal, and plant-centred perspective, providing benefits for all stakeholders.

**Methodology** | To achieve the described non-anthropocentric design approach, the project has been structured into five main work packages which will provide, in four years, the development of the new design workflow supported by the dedicated design tool. At the moment, the project is at the end of the first year of research activity and initial results are under validation. The work packages are the following: ECOLOPES platform architecture; Data acquisition and information modelling; ECOLOPES voxel and computational model; Computational simulations and analysis, and Overall validation (Fig. 12). To tackle the ECOLOPES approach, a novel workflow is defined to represent the non-anthropocentric and multi-species approach throughout all design phases. The main difference from the traditional workflow is that the entire process is not initiated solely by the human stakeholders, but also by non-human stakeholders (plants, animals, and microbiota; Fig. 13).

Non-human stakeholders and their needs are represented by ecologists. To adequately represent their role as equivalent to human stakeholders they are referred to as Ecologes clients. This is to express that the needs of non-human stakeholders are taken as seriously as those of human stakeholders. Like human requirements, the ecological needs are translated into a design brief to enable the designer to define the overall design objectives. Regarding the implementation of the requirements of non-human stakeholders within the design workflow, ecologists and green specialist planners provide expert data and make it available in a data-driven design process. The new workflow for a multi-species approach in urban design fosters higher possibilities of achieving genuine multi-species solutions as their requirements have become an intrinsic part of the design (Fig. 14).

This multi-species approach is far more complex, compared to the traditional approach, and involves a variety of trade-offs and decisions that cannot be resolved with established planning tools. To manage this level of complexity multi-criteria decision-making strategies have proven to be effective due to the methodological flexibility in considering data that is multi-disciplinary and qualitative as well as quantitative (Gnanasekaran and Venkatachalam, 2019; Mela, Tiainen and Heinisuo, 2012). This allows the requirements of multiple stakeholders to be considered in new design decision-making processes systematically and objectively. Current traditional decision support systems in AEC (Architecture, Engineering, and Construction) industry encourage cross-disciplinary decision-making mainly within the AEC discipline (Tan et alii, 2021; Guarini, Battisti and Chiovitti, 2018). The decision-making process also facilitates the selection of sustainable materials or design strategies but is often aimed only at human-centric objectives such as building performance in terms of energy consumption and life-cycle costs (Moghtadernejad, Chouinard and Mirza, 2020; Mathiyazhagan, Gnanavelbabu and Lokesh Prabhuraj, 2019). When non-human communities are considered and prioritised as key stakeholders, the design process is further enriched by reducing the bias towards human-centred objectives to support sustainable decision-making.

To achieve this goal within the ECOLOPES approach, a central role will be played by an Information Model that integrates ecological and ar-

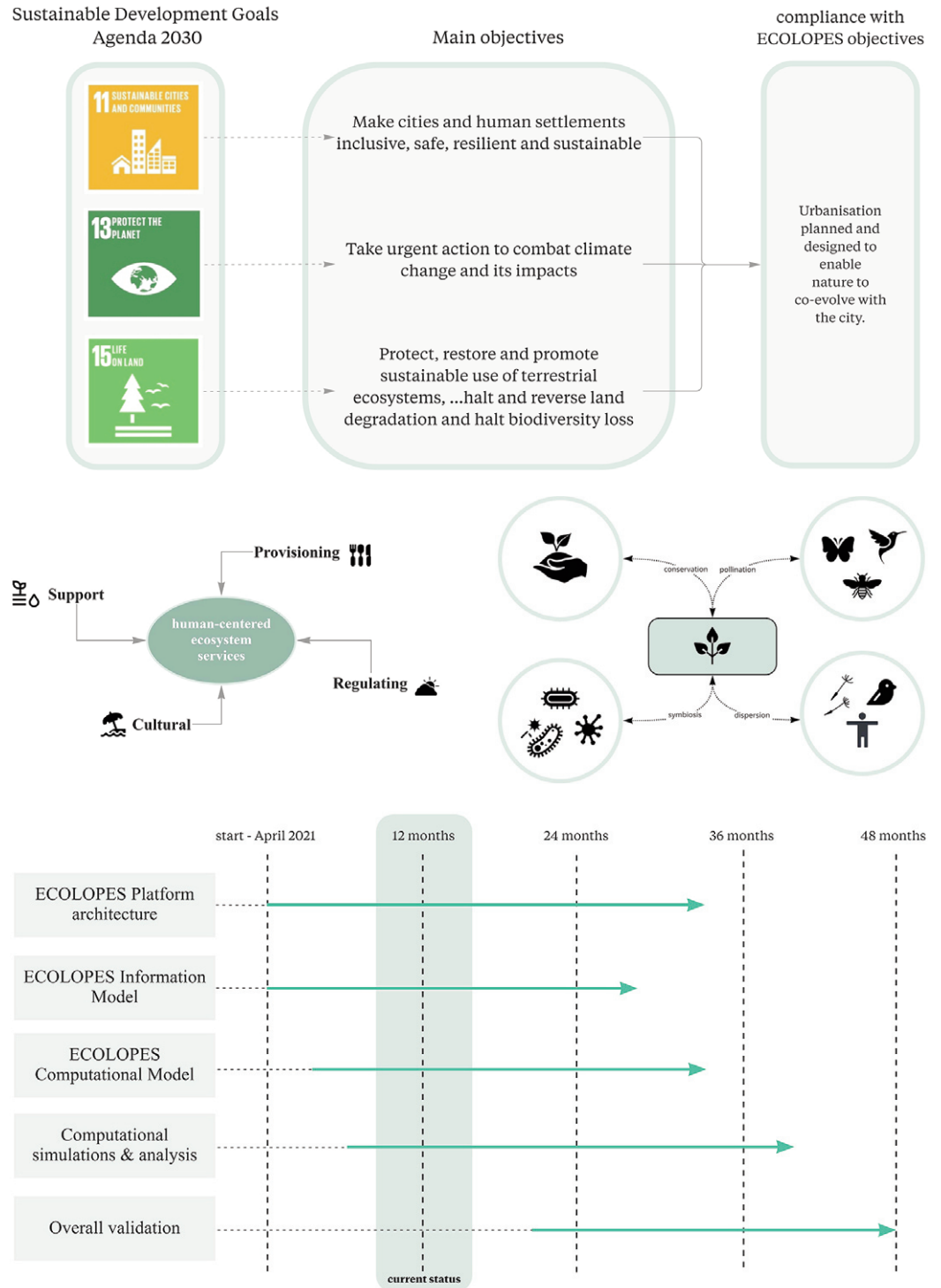
chitectural knowledge and makes it available for design. This model partly relies on the coupling of several ecological models (soils-microbiota, plants, and animals) resulting in a super ecological model. This spatially explicit model simulates the temporal and spatial dynamics of animals, plants, and soil development as a function of abiotic conditions such as soil types (depending on soil depth, and water content) or such as light availability for plants or food availability for animals, and according to biotic interactions such as human management, animal predation, plant dispersal or habitat provisioning.

The outcome of this model is a prediction of soil type, plant abundance, and animal home range in time and space. Interactions with architectural parameters will further be coupled to this super-model through knowledge gained from a series of computational experiments as well as from a literature review. They help to identify the relationships between architecture and ecology and how they could influence each other and for a more effective design of green infrastructures in urban environments resulting in different ecolopes (e.g., how the inclination of a façade affects the connectivity of animals, or placement of soil to grow plants).

Therefore, by integrating this information into a CAD (Computer-Aided Design) system, there is a potential to build a proper design recommendation system that enables iterative design development with multi-criteria decision-making strategies. This new approach enriches the ECOLOPES design workflow with information for making more precise decisions in favour of all stakeholders (humans, plants, animals, microbiota), and for a more effective design of green infrastructures in urban environments.

The ECOLOPES MCDM (Multi-Criteria Decision Making) process utilizes both MADM (Multi-Attribute Decision-Making) and MODM (Multi-Objective Decision-Making) strategies<sup>4</sup> to generate a workflow that can integrate multidisciplinary information in the field of ecology and architecture. With that regard, KPIs (Key Performance Indicators) will represent the criteria of the various stakeholders, including green building performance. Concerning MOO (Multi-Objective Optimization), the design alternatives will be evaluated through the thresholds generated by the optimised KPI values to ensure that the designs are within the acceptable range. In addition, the integration of MADM will enable weights to be assigned to the KPIs, derived either through expert knowledge or literature reviews. Not only this strategy will allow the generated design alternatives to be sorted and ranked, but it will also provide the opportunity to redefine hierarchies and priorities of the KPIs that are informed by design objectives. This also allows the KPIs to be evaluated on different sets of architectural and ecological conditions.

To enable such an approach diverse data, models, and applications must be chained in a way that only the relevant data is made available to the user (designer, ecologist, urban planner that interfaces with a CAD system, etc.) of the new design system. Thus, a workflow needs to be elaborated that first reflects how the user would engage with such a system and second, how the principal components of the system (Information Model, and the Computational Simulation Environment) can be working together to provide the required informa-



**Fig. 9** | Selected Sustainable Development Goals objectives and compliance with ECOLOPES objectives (credit: F. Mosca and M. Canepa, 2022).

**Fig. 10** | Human-centred ecosystem services (credit: F. Mosca and M. Pianta, 2022).

**Fig. 11** | Example of plant-centred approach that provides mutual benefits for different living species, where each stakeholder supports the occurrence, abundance, and diversity of the others (credit: M. Pianta, F. Mosca, M. Canepa and E. Rocciotiello, 2022).

**Fig. 12** | ECOLOPES project phases (credit: F. Mosca and M. Pianta, 2022).

tion for the development of a multi-criteria decision-making support system.

**Further results and stakeholder involvement**

The ECOLOPES design platform will integrate all components (Information Model, Simulation Environment). Furthermore, custom-developed front-end design tools (built as a plugin in a standard CAD application in Rhino and Grasshopper) will allow architects and planners to interface with the

new approach. The development of such a platform would include an investigation to explore how data can be classified, linked, and represented first, as a spatial-temporal combined data model, and second as a 3D voxel model in CAD. The main aim of such a computational platform is to provide support in the decision-making process and systemic coordination of planning actions in multi-species environments. Architects, engineers, and students will be the main target groups in terms of the prac-

tical application of our design technology (computational model), their professional organisations (chambers of architects, etc.) architectural and engineering firms, and building industry professionals. Landscape architects, urban planners and ecologists, local administrations and municipalities will be informed about the potential application of the ECOLOPES design tool, to improve governance strategies. ECOLOPES will be also relevant for ecologists and NGOs on green building councils. Finally, project results could be disseminated among environmental medical doctors and wellbeing advocates groups, given the expected impact on buildings inhabitants' well-being and health improvement.

**Conclusions** | In summary, the ECOLOPES design approach potentially allows architects to consider different stakeholders – including plants, animals and microbiota – and define their specific needs. In parallel, it considers normative constraints and technical requirements for its implementation (referring to humans as a client). Considering the topic of greenery, the step forward from the current approaches is the introduction of ecological knowledge (e.g., ecosystemic approach, multitrophic relationships) not only in the final steps of the design workflow but also in the first steps (i.e. the definition of the non-human design brief). Therefore, the ECOLOPES project underlines the importance of an interdisciplinary approach, highlighting the relevant role of the ecologists in the entire design process, not just exploiting their expert knowledge in specific stages of the design workflow (Fig. 15), but also their potential to actively design the new workflow.

ECOLOPES will allow acquiring precise knowledge from the ecological model outputs and make it directly available in CAD. The novel, non-anthropocentric KPIs relationships will make decision-making more effective. In times of crisis, more precise and multi-species solutions could overcome the paradigm in anthropocentric urban design. However, there are some limitations and challenges to this approach: firstly, the approach is very complex due to the multiple existing sub-methods and techniques that need to be developed and merged into a system that can potentially fulfil what has been promised or envisioned. There will be limitations to making the overall process an entirely automated process: parts of it will probably remain manual operations.

The second challenge is related to computational processes within the project. Also pondering the possible limits of the research, these are quite difficult considering the number and size of various datasets, the required processing power for computing the models, geometry as well as for analysis and simulation purposes. Such a challenge can be addressed by unifying datasets and file formats as well as through cloud computing. The third challenge is related to the end-user: the designer that will interface with the ECOLOPES platform through front-end tools. The designer will be the one that will provide the most crucial feedback for validating the overall approach. Their feedback will be necessary to understand if the envisioned system fulfils its purpose by designing urban environments that indeed foster regenerative ecosystems within our future cities.

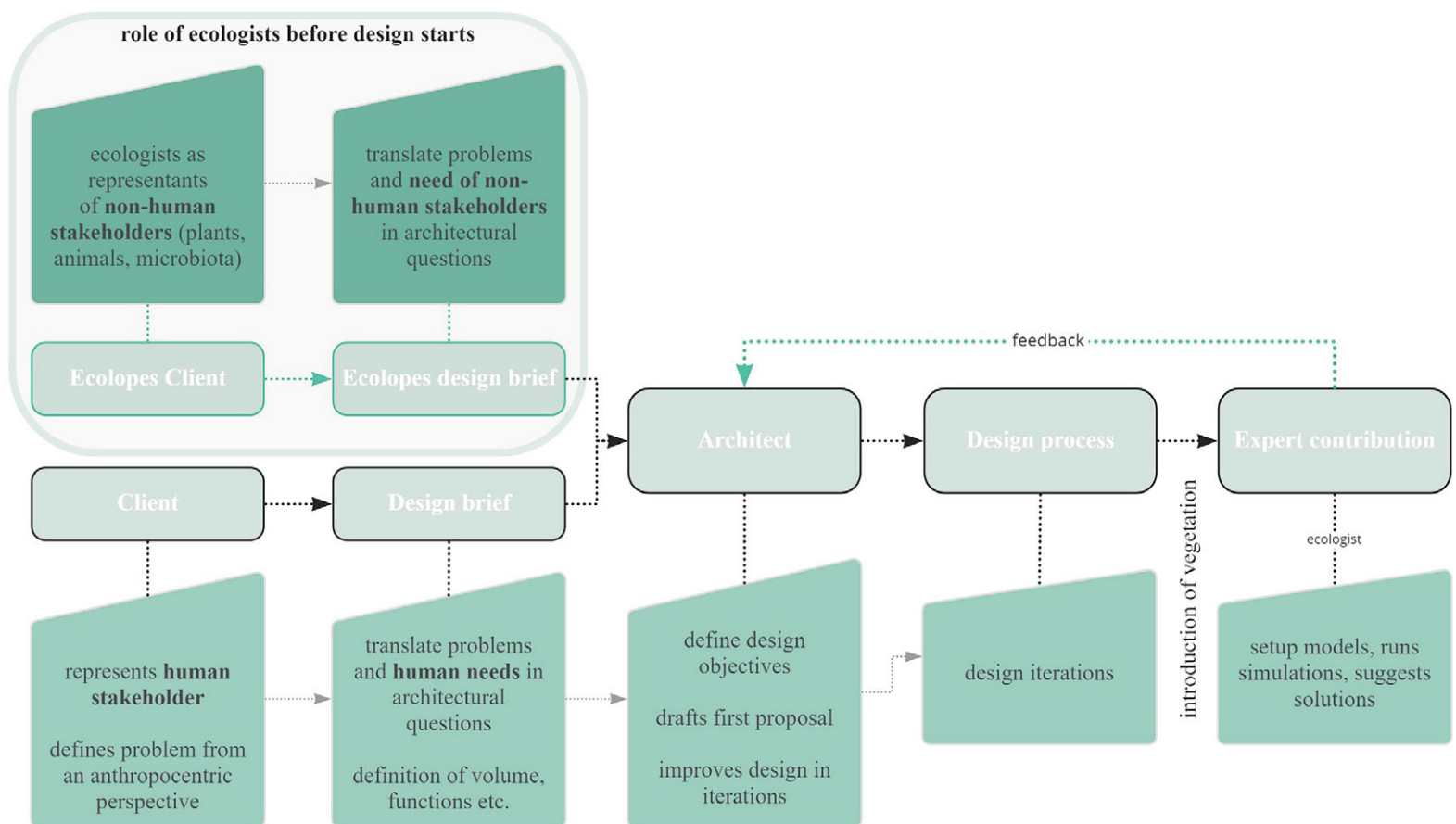
In future stages of the research (results in the phase of validation), a set of experiments will contribute to testing the different ECOLOPES components and build knowledge which will feedback to the system (e.g., relations between building geometry and ecological features). The project will also start an overall validation process that will demonstrate the effectiveness of the ECOLOPES multi-species design approach by taking real-world envelope prototypes (building blocks) located in four different cities/countries to determine whether the design solutions are representing multi-species or whether the approach needs to be optimised.



**Fig. 13, 14** | Human-centred perspective approach; Non-human perspective approach (credits: F. Mosca and E. Roccotello, 2022).

**Fig. 15** | ECOLOPES design approach (credit: F. Mosca and F. Ludwig, 2022).

Ecologies design workflow - non anthropocentric perspective



## Acknowledgements

ECOLOPES project has received funding from the European Union Horizon 2020 research and innovation programme FET Open under grant agreement No. 964414.

## Notes

1) ECOLOPES Consortium members: Technische Universität Munich, University of Genova, McNeel Europe, Technische Universität Wien, Technion Israel Institute of Technology, Animal Aided Design (AAD) Studio.

2) Humans have a fully formed environmental system belief, an environmental ideology, based on their own experience and connected to their specific actions. Therefore, the way people think of nature is directly connected to their personal experience with nature and the environment they live in. However, depending on that human perspective, human interactions are just one part of an ecosystem (Corbett, 2006).

3) Ecologies is a crisis of the words 'ecological' and 'envelope'.

4) In multi-criteria decision-making, strategies are adopted based on the problem typology that is dependent on the availability of alternatives and can be categorised into two approaches (Penadés-Plà et alii, 2016; Yazdani et alii, 2019). MADM is a strategy in which weights are assigned to criteria of pre-defined alternatives and based on the priority of the weights, the alternatives are ranked and sorted. In MODM, the alternatives are generated through a continuous set of solutions and support the basis for MOO. MOO in architecture utilizes algorithms that generate optimal design alternatives usually from conflicting criteria that need to be simultaneously calculated (Gunantara and Quingsong 2018; Hamdy, Nguyen and Hensen, 2016). The optimal solutions (a.k.a.: alternatives) generate the Pareto front and the criteria trade-offs are also computed.

## References

- Aronson, M. F. J., Lepczyk, C. A., Evans, K. L., Goddard, M. A., Lerman, S. B., MacIvor, J. S., Nilon, C. H. and Vargo, T. (2017), "Biodiversity in the City – Key Challenges for Urban Green Space Management", in *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 15, issue 4, pp. 189-196. [Online] Available at: doi.org/10.1002/fee.1480 [Accessed 20 March 2022].
- Barton, J. and Pretty, J. (2010), "What is the Best Dose of Nature and Green Exercise for Improving Mental Health? A Multi-Study Analysis", in *Environmental Science & Technology*, vol. 44, issue 10, pp. 3947-3955. [Online] Available at: doi.org/10.1021/es903183r [Accessed 20 March 2022].
- Canepa, M. (2018), *Riflessioni sullo sviluppo sostenibile in architettura – A trent'anni dal Rapporto Brundtland*, Mimesis, Milano.
- Corbett, J. B. (2006), *Communicating Nature – How We Create and Understand Environmental Messages*, Island Press, Washington DC.
- EEA – European Environment Agency (2020), *Air Quality in Europe – 2020 Report*. [Online] Available at: data.europa.eu/doi/10.2800/786656 [Accessed 20 March 2022].
- Fernández-Cañero, R., Pérez Urrestarazu, L. and Perini, K. (2018), "Vertical Greening Systems", in Pérez, G. and Perini, K. (eds), *Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability*, Elsevier, Amsterdam, pp. 45-54. [Online] Available at: doi.org/10.1016/B978-0-12-812150-4.00004-5 [Accessed 20 March 2022].
- Fineschi, S. and Loreto, F. (2020), "A Survey of Multiple Interactions Between Plants and the Urban Environment", in *Frontiers in Forests and Global Change*, vol. 3, article 30, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.3389/ffgc.2020.00030 [Accessed 20 March 2022].
- Gnanasekaran, S. and Venkatachalam, N. (2019), "A Review on Applications of Multi-Criteria Decision Making (MCDM) For Solar Panel Selection", in *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, vol. 9, issue 2, pp. 11-20. [Online] Available at: doi.org/10.24247/ijmperdapr20192 [Accessed 20 March 2022].
- Guarini, M. R., Battisti, F. and Chiovitti, A. (2018), "A Methodology for the Selection of Multi-Criteria Decision Analysis Methods in Real Estate and Land Management Processes", in *Sustainability*, vol. 10, issue 2, article 507, pp. 1-28. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su10020507 [Accessed 20 March 2022].
- Gunantara, N. and Quingsong, A. (2018), "A review of multi-objective optimization – Methods and its applications", in *Cogent Engineering*, vol. 5, issue 1, pp. 1-16. [Online] Available at: doi.org/10.1080/23311916.2018.1502242 [Accessed 20 April 2022].
- Hamdy, M., Nguyen, A.-T., Hensen, J. L. M. (2016), "A performance comparison of multi-objective optimization algorithms for solving nearly-zero-energy-building design problems", in *Energy and Buildings*, vol. 121, pp. 57-71. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.035 [Accessed 20 March 2022].
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022), *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability – Summary for Policymakers*. [Online] Available at: ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC\_AR6\_WGII\_FinalDraft\_FullReport.pdf [Accessed 20 March 2022].
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2015), *Climate Change 2014 – Synthesis Report*. [Online] Available at: ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR\_AR5\_FINAL\_full\_wcover.pdf [Accessed 20 March 2022].
- IUCN (2016), *International Union for Conservation of Nature Annual Report 2016*. [Online] Available at: portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2017-001-v.1-En.pdf [Accessed 20 March 2022].
- Lepczyk, C. A., Aronson, M. F. J., Evans, K. L., Goddard, M. A., Lerman, S. B. and MacIvor, J. S. (2017), "Biodiversity in the City – Fundamental Questions for Understanding the Ecology of Urban Green Spaces for Biodiversity Conservation", in *BioScience*, vol. 67, issue 9, pp. 799-807. [Online] Available at: doi.org/10.1093/biosci/bix079 [Accessed 20 March 2022].
- Mathiyazhagan, K., Gnanavelbabu, A. and Lokesh Prabhuraj, B. (2019), "A Sustainable Assessment Model for Material Selection in Construction Industries Perspective Using Hybrid MCDM Approaches", in *Journal of Advances in Management Research*, vol. 16, issue 2, pp. 234-259. [Online] Available at: doi.org/10.1108/JAMR-09-2018-0085 [Accessed 20 March 2022].
- McPhearson, T., Andersson, E., Elmqvist, T. and Frantzeskaki, N. (2015), "Resilience of and through Urban Ecosystem Services", in *Ecosystem Services*, vol. 12, pp. 152-156. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.07.012 [Accessed 20 March 2022].
- MEA – Millennium Ecosystem Assessment, (2005), *Ecosystems and Human Well-being – Synthesis*, Island Press, Washington (DC). [Online] Available at: millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf [Accessed 20 March 2022].
- Mela, K., Tiainen, T. and Heinisuo, M. (2012), "Comparative Study of Multiple Criteria Decision Making Methods for Building Design", in *Advanced Engineering Informatics*, vol. 26, issue 4, pp. 716-726. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.aei.2012.03.001 [Accessed 20 March 2022].
- Moghtadernejad, S., Chouinard, L. E. and Mirza, M. S. (2020), "Design Strategies Using Multi-Criteria Decision-Making Tools to Enhance the Performance of Building Façades", in *Journal of Building Engineering*, vol. 30, article 101274, pp. 1-14. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101274 [Accessed 20 March 2022].
- Naylor, L. A., Kippen, H., Coombes, M. A., Horton, B., MacArthur, M. and Jackson, N. (2017), *Greening the Grey – A Framework for Integrated Green Grey Infrastructure (IGGI)*, University of Glasgow, Glasgow. [Online] Available at: eprints.gla.ac.uk/150672/ [Accessed 20 March 2022].
- Penadés-Plà, V., García-Segura, T., Martí, J. V. and Yepes, V. (2016), "A Review of Multi-Criteria Decision-Making Methods Applied to the Sustainable Bridge Design", in *Sustainability*, vol. 8, issue 12, article 1295, pp. 1-21. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su8121295 [Accessed 20 March 2022].
- Pérez, G. and Coma, J. (2018), "Green Roofs Classifications, Plant Species, Substrates", in Pérez, G. and Perini, K. (eds), *Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability*, Elsevier, Amsterdam, pp. 65-74. [Online] Available at: doi.org/10.1016/B978-0-12-812150-4.00006-9 [Accessed 20 March 2022].
- Philo, C. and Wilbert, C. (2000), *Animal spaces, beastly places – New geographies of human-animal relations*, Routledge, London.
- Pisani, M. (2006), *Site*, EdilStampa, Roma.
- Rees, W. E. (1997), "Urban ecosystems – The human dimension", in *Urban Ecosystems – The human dimension*, vol. 1, pp. 63-75. [Online] Available at: doi.org/10.1023/A:1014380105620 [Accessed 20 March 2022].
- Schrieke, D., Lönnqvist, J., Blecken, G.-T., Williams, N. S. G. and Farrell, C. (2021), "Socio-Ecological Dimensions of Spontaneous Plants on Green Roofs", in *Frontiers in Sustainable Cities*, vol. 3, article 777128, pp. 1-8. [Online] Available at: doi.org/10.3389/frsc.2021.777128 [Accessed 20 March 2022].
- Singh, N., Singh, S. and Mall, R. K. (2020), "Urban Ecology and Human Health – Implications of Urban Heat Island, Air Pollution and Climate Change Nexus", in Verma, P., Singh, P., Singh, S. and Raghubanshi, A. S. (eds), *Urban Ecology – Emerging Patterns and Social-Ecological Systems*, pp. 317-334. [Online] Available at: doi.org/10.1016/B978-0-12-820730-7.00017-3 [Accessed 20 March 2022].
- Tan, T., Mills, G., Papadonikolaki, E. and Liu, Z. (2021), "Combining Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods with Building Information Modelling (BIM) – A Review", in *Automation in Construction*, vol. 121, article 103451, pp. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103451 [Accessed 20 March 2022].
- UN – General Assembly (2015), *Transforming our world – The 2030 Agenda for Sustainable Development*, document A/RES/70/1. [Online] Available at: sustainabledevelopment.un.org/index.php?page=view&type=111&nf=8496&menu=35 [Accessed 20 March 2022].
- Urbanik, J. (2012), *Placing animals – An Introduction to the Geography of Human-Animal Relations*, Rowman & Littlefield, Lanham.
- Yazdani, M., Zarate, P., Kazimieras Zavadskas, E. and Turskis, Z. (2019), "A combined compromise solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems", in *Management Decision*, vol. 57, issue 9, pp. 2501-2519. [Online] Available at: doi.org/10.1108/MD-05-2017-0458 [Accessed 26 April 2022].

## ANALISI AMBIENTALE E PROGETTAZIONE ECOSISTEMICA

Sondaggi, criticità e soluzioni applicative

## ENVIRONMENTAL ANALYSIS AND ECOSYSTEMIC DESIGN

Survey, critical issues and application solutions

Chiara Catalano, Andrea Balducci

### ABSTRACT

La frammentazione, il degrado ambientale e la perdita di habitat, dovuti all'urbanizzazione e al conseguente sviluppo delle infrastrutture, causano una forte pressione sulla diversità biologica e sul funzionamento degli ecosistemi; nei prossimi decenni, l'impronta delle aree urbane è destinata ad aumentare, esacerbando l'effetto dei cambiamenti climatici. In questo contesto, i progetti di sviluppo urbano rappresentano una grande opportunità per la sperimentazione e applicazione di nuove soluzioni con lo scopo di promuovere la biodiversità. Questo lavoro mira a individuare, da un lato la consapevolezza dei progettisti verso soluzioni che mirino al supporto della biodiversità, dall'altro come l'analisi spaziale e l'adozione di procedure parametriche possano ottimizzare la cooperazione tra ecologi e progettisti sin dalle prime fasi progettuali.

Fragmentation, environmental degradation, and habitat loss, due to urbanization and the consequent development of infrastructure, put a great deal of pressure on biological diversity and the functioning of ecosystems. In the coming decades, the ecological footprint of urban areas is set to increase, exacerbating the effect of climate change. In this context, urban development projects represent an excellent opportunity to experiment and implement new solutions which promote biodiversity. This work investigates, on the one hand, how aware designers are of solutions that aim to support biodiversity, and on the other hand, how spatial analysis and the adoption of parametric procedures can optimize cooperation between ecologists and designers from the early design stages.

### KEYWORDS

biodiversità, architettura, progetto, natura, design parametrico

biodiversity, architecture, project, nature, parametric design

**Chiara Catalano**, Architect and Urban Ecologist, is a Researcher at the Zurich University of Applied Sciences (ZHAW) in Switzerland; she is a Member of the Green Space Development Research Group, where she carries out research on urban vegetation models and the implementation of green infrastructures. Her latest research project is aimed at the ecosystem design of the building envelope conceived as a habitat capable of hosting wild flora and fauna. Mob. +39 328/805.96.36 | E-mail: cata@zhaw.ch

**Andrea Balducci**, Environmental Engineer, holds an MSc in Environment and Natural Resources from the Zurich University of Applied Sciences (ZHAW) in Switzerland. He collaborated with the Green Space Development Research Group of the Institute of Natural Resources Sciences of the ZHAW and gained work experience during an internship at the green building company Hydroplant AG (Switzerland) and the studio Laura Gatti (Italy). E-mail: andrea.balducci044@gmail.com

Come risultato del crescente numero di abitanti, le città stanno diventando sempre più densamente popolate e 'diffuse', mettendo così a dura prova i sistemi sociali, l'assistenza sanitaria e le infrastrutture ed esercitando una maggiore pressione sull'ambiente e sugli ecosistemi naturali (Apfelbeck et alii, 2020); infatti, la frammentazione e il degrado ambientale, la perdita di habitat e gli effetti dei cambiamenti climatici in atto stanno causando un grave e repentino declino della biodiversità a livello globale (Grimm et alii, 2008). A scala urbana, una delle strategie messe in atto per affrontare questioni come l'adattamento ai cambiamenti climatici, la giustizia ambientale e la conservazione della biodiversità è stata l'implementazione di quei servizi ecosistemici forniti da aree e spazi verdi (formali e informali) quale strategia. Ciò suggerisce che, sebbene la crescente urbanizzazione abbia attualmente un impatto negativo sulla biodiversità, questa costituisce anche una grande opportunità per sperimentare dei modelli alternativi di sviluppo sostenibile che prendano in considerazione gli ecosistemi e la loro conservazione (Opoku, 2019).

Se condividiamo la visione del 'net-positive design' (Birkeland, 2008) secondo la quale l'ambiente costruito debba restituire all'ambiente naturale più di quanto consuma, gli edifici dovrebbero non solo diventare 'eco-produttivi', ma anche compensare l'impatto ambientale legato allo sviluppo precedente, dando spazio agli ecosistemi indigeni e aumentando così i servizi ecosistemici in termini assoluti (Birkeland, 2009). Affinché ciò accada il futuro della biodiversità urbana dipende strettamente dalla cooperazione interdisciplinare (Ignatieva, 2010) e dall'integrazione degli obiettivi di conservazione biologica nella pianificazione a diverse scale (Garrard et alii, 2018). Pertanto, da un lato gli ecologi dovrebbero essere coinvolti fin dalle prime fasi di progettazione (Miller et alii, 2012), dall'altro i progettisti dovrebbero essere coinvolti nella pianificazione delle misure di conservazione (Ross et alii, 2015).

Tecnologie emergenti come il GeoBIM (Moretti et alii, 2021), ovvero la recente combinazione Building Information Modeling (BIM) e Geographic Information Systems (GIS), mostrano come la collaborazione tra progettisti ed ecologi permetta di individuare soluzioni con una migliore qualità ambientale (Moura and Campagna, 2018). In questa direzione, sono già stati sviluppati diversi metodi e approcci che fanno delle conoscenze ecologiche uno strumento progettuale, come nel caso dell'Animal Aided Design (AAD) di Weisser e Hauck (2017) e del Biodiversity Sensitive Urban Design (BSUD) di Garrard e Bekessy (2015). L'AAD è una metodologia applicabile alla progettazione di spazi aperti urbani che tiene conto dei cicli di vita di alcune specie target e degli obiettivi di conservazione della biodiversità (Apfelbeck et alii, 2019, 2020); il BSUD è un approccio volto a supportare in maniera puntuale, ma non circoscritta, la biodiversità attraverso la creazione di nuovi habitat che favoriscano lo spostamento degli organismi attraverso diverse tipologie e densità di sviluppo urbano (Garrard et alii, 2018). Oltre alle metodologie citate, Gunnell, Murphy e Williams (2019) hanno pubblicato la guida tecnica *Designing for Biodiversity* che illustra come integrare sia nelle costruzioni nuove sia in quelle già esistenti (a basse o zero emissioni) del Regno Unito le specie che solita-

mente nidificano sugli edifici (ad esempio uccelli e pipistrelli), sulla base delle loro esigenze vitali.

Eppure, integrare dati ambientali o i cicli di vita di alcune specie target non è una pratica progettuale comune e dipende spesso dagli obiettivi specifici del progetto o dalla filosofia del gruppo di lavoro; infatti, vi è ancora incertezza su quali fattori e incentivi possano motivare pianificatori e architetti a integrare l'analisi spaziale ed ecologica sin dalle prime fasi progettuali, nonché considerare certi aspetti biologici legati alla fauna selvatica come parte integrante del processo compositivo e costruttivo, realizzando così delle vere e proprie 'ecolopes' (Ludwig, Hensel and Wolfgang, 2021).

**Obiettivi della ricerca** | L'obiettivo specifico del presente studio è quello di ottimizzare strumenti e modalità di cooperazione tra ecologi e progettisti attraverso: 1) l'integrazione di mappe di idoneità degli habitat nei metodi di progettazione; 2) l'adozione di procedure parametriche che automatizzino l'integrazione nell'involucro edilizio di elementi BIM a supporto di alcune specie selvatiche. Esso è stato condotto nell'ambito del progetto internazionale 'Design and Modelling of Urban Ecosystems – A spatial-based approach to integrate habitats in built ecosystems' (DeMo) che mira a sviluppare un quadro di riferimento multidisciplinare e un approccio per la progettazione di ecosistemi in aree costruite, facilitando la colonizzazione e lo spostamento delle specie animali e vegetali (Catalano et alii, 2021).

**Il questionario** | Per ottenere informazioni sulla consapevolezza e la disponibilità ad adottare strategie di progettazione ispirate a criteri ecologici, il questionario online Data Interoperability for Ecological and Spatial Oriented Design in AEC è stato preparato su Google Forms. Rivolgendosi a professionisti, accademici e studenti attivi nei settori dell'Architettura, dell'Ingegneria e delle Costruzioni (AEC), il link al questionario è stato condiviso in quattro modi (Tab. 1): spedito via e-mail ai contatti personali (A) e agli esperti elencati nel repository dell'Associazione Svizzera per l'Edilizia Sostenibile (B); pubblicato sul profilo LinkedIn di A. Balducci (C); proposto come attività agli studenti di Architettura del Paesaggio e Architettura da C. Catalano durante una lezione tenuta per il Laboratorio di Arte dei Giardini e Architettura del Paesaggio presso l'Università degli Studi di Palermo (D).

Il questionario conteneva 43 elementi (domande) raggruppati in 6 sezioni (Tab. 2). I nomi dei partecipanti sono stati codificati in base al pool degli intervistati, in ordine cronologico, e raggruppati in sei categorie professionali principali; mentre le risposte sono state raggruppate in base al tipo, alla categoria e all'esperienza lavorativa degli intervistati (Tab. 3). Considerando che le domande erano a scelta multipla e che alcuni intervistati rappresentavano più di una categoria professionale, la categoria 'multidisciplinare' è stata aggiunta a posteriori. La condivisione attraverso i suddetti canali ha prodotto quattro pool di intervistati, numericamente molto diversi tra loro, le cui risposte sono state raggruppate e successivamente analizzate in Excel (Build 13801.21092).

Su un totale di 60 intervistati, la metà era composta da architetti, seguiti da architetti paesaggisti (21%), da intervistati con un profilo multidisciplinare (8%), da pianificatori (5%) e infine da ingegneri

ambientali (5%). Agronomi, pianificatori ambientali, consulenti per la sostenibilità e la cartografia digitale erano rappresentati solo dal 2%. Le tipologie professionali degli intervistati erano composte principalmente da studenti (56,7%), seguiti da membri del settore privato (20%) e ricercatori (5%). Da questi risultati descrittivi si evince una sovrarappresentazione della categoria 'architetti' che rende il sondaggio statisticamente poco robusto; inoltre va tenuto conto che quasi la metà degli intervistati era costituita da studenti di Architettura italiani, pertanto i risultati non possono essere considerati come rappresentativi né della categoria professionale, né del panorama internazionale. In uno studio futuro si dovrebbero raccogliere dati per un tempo più prolungato sfruttando ulteriori canali di diffusione interattiva come seminari e workshops.

Le domande, volte a stimare la percezione dell'utente, sono state valutate in base alla scala Likert con valori assegnati da 1 a 5, dove 1 equivale ad 'assolutamente in disaccordo' e 5 ad 'assolutamente d'accordo'. Più della metà degli intervistati era 'd'accordo' o 'assolutamente d'accordo' sull'opportunità di integrare i programmi strategici di conservazione e tutela della biodiversità nella pianificazione urbanistica, attuabile coinvolgendo sin dall'inizio gli ecologi nei gruppi interdisciplinari di progettazione e pianificazione (Sezione 4). Questo risultato ha evidenziato quanto i progettisti siano ben consapevoli degli strumenti messi in atto a supporto della biodiversità urbana già in diversi contesti europei e che siano disposti ad adottare approcci basati sul dialogo multidisciplinare.

Tra gli approcci quali Geodesign, AAD, Wildlife-Inclusive Urban Design, BSUD, Property-specific Biodiversity Index (DGNB System, 2020), le Nature-Based Solutions (European Commission, 2015) sono risultate essere le più conosciute tra quelli citati, seguite dal BSUD e dal Singapore Index (Chan et alii, 2014). Tuttavia, alcune ambiguità sono emerse in merito al concetto di 'sostenibilità' (Hassan and Lee, 2015) che viene associato prevalentemente all'efficienza energetica e all'uso di materiali sostenibili, trascurando l'aspetto ecosistemico (Gunnell, Murphy and Williams, 2019). Non sorprende pertanto che una corretta valutazione della qualità dei biotopi o delle misure della biodiversità siano scarsamente considerate negli standard di valutazione di sostenibilità ambientale urbana (Catalano et alii, 2021).

Il 67% degli intervistati ha espresso la volontà di implementare in progetti futuri approcci che includano le specie target anche senza la richiesta esplicita da parte dell'Ente appaltante o la loro definizione nelle specifiche tecniche di progetto. Il 33% ha mostrato disponibilità a implementare tali strategie, mentre nessuno ha escluso la possibilità di farlo indicando tra gli ostacoli principali il programma specifico di progetto, l'incertezza su come selezionare le specie target, il presunto aumento dei costi dovuto all'attuazione e alla manutenzione delle misure volte a favorire la biodiversità, ma soprattutto la mancanza di misure legislative e norme specifiche. La disponibilità degli intervistati a completare il questionario lascia immaginare una loro familiarità con le strategie a sostegno della biodiversità o che fossero già sensibili al tema/approccio proposto.

Nella quinta sezione del questionario è stato chiesto di esprimere una preferenza nei confronti di alcune tipologie e soluzioni progettuali (Tab. 4)



| Code | Target audience   | Timeframe          | Potential Respondent      | Nr. of Responses |
|------|---|--------------------|---------------------------|------------------|
| A    | Professional personal contacts pool (researchers and professionals in the AEC sector)         | 20-25 October 2021 | 36 Email sent             | 19 (31%)         |
| B    | Experts listed in the Swiss Sustainable Building Association (NNBS, nnbs.ch/)                 | 1st November 2021  | 52 Email sent             | 4 (7%)           |
| C    | Link posted on LinkedIn   | 15 November 2021   | 22 reactions<br>838 views | 3 (5%)           |
| D    | Students of the "Landscape Architecture and Architecture" module of the University of Palermo | 25 November 2021   | Submitted to 34 students  | 34 (57%)         |

Tab. 1 | Target audience groups of the questionnaire and related response rates.

| S | Title                                  | Aim/Description   | Nr. |
|---|--|---|-----|
| 1 | Aim and the scope of the questionnaire | Introduce the respondents briefly to the topic and the aim of the questionnaire/research  |     |
| 2 | Privacy statement and GDPR1 compliance | Gather consensus on using the submitted data  |     |
| 3 | Demographic information                | Assess the geographical and demographic distribution of the respondents such as category, role in the field of work etc.  | 4   |
| 4 | Awareness and perspective              | Assess the awareness and perspective of the respondents concerning biodiversity and ecological based designs but also to indirectly introduce and prepare them for the topic  | 8   |
| 5 | Understanding and acceptance           | Assess the respondent's preference towards the following designing approaches and solutions to support biodiversity: Self-contained, Inserted-Habitat, Envelope-Habitat and Green Infrastructure.                                     | 17  |
| 6 | Ecological maps                        | Assess the respondents' understanding of different types of ecological information and their readiness to use this information in a real case study (renovation of a building façade).  | 10  |
|   | Data type and format exchange          | Assess the preferences in term of file data and format (*.shp, *.dwg, *.dxf, *.ifc, *.pdf, etc.) related to the ecological information which would enable designers to integrate ecological and spatial data in their design workflow | 2   |
|   | Education                              | Gather respondent opinions on which skills could/should be added to university curricula to enhance interdisciplinary cooperation   | 2   |

Tab. 2 | Questionnaire – Section (S) partition: Section aim and number of questions.

| Data type             | Data entry   |
|-----------------------|--|
| Professional category | Architect; Landscape Architect; Ecologist; Environmental Engineer; Agronomist; Planner/Urbanist    |
| Professional typology | Government Employees; Private Sector; Self-employed; Teacher Higher Education; Researcher; Student |
| Working experience    | Less than 5 years; 6-10 years; 11-15 years; 16-20 years; more than 20 years                        |

Tab. 3 | Questionnaire – General information about respondents' demographics.

che affrontano il rapporto biodiversità-architettura in maniera graduale (Stokes and Chitrakar, 2012). Tra le diverse tipologie di soluzioni integrate (Fig. 1) gli intervistati hanno valutato le soluzioni 'self-contained habitat' come non soddisfacenti dal punto di vista estetico e compositivo, preferendo soluzioni meglio contestualizzate nell'involucro edilizio come gli 'inserted-habitat' e gli 'envelope-habitat'. Tuttavia, le prime sono state criticate perché restano distinte dall'involucro – come nel caso di soluzioni prefabbricate – mentre le seconde per il loro costo e l'energia grigia ad esse associate a causa dell'uso estensivo di cemento armato.

Infine, il termine 'green infrastructures' è stato messo in discussione perché spesso trattato e frainteso come soluzione tecnologica, non necessariamente abbinata a un inverdimento consapevole. Inoltre, secondo alcuni degli intervistati (risposte aperte), le misure a sostegno della biodiversità promosse nel settore AEC sono per lo più rivolte agli spazi verdi aperti, trascurando le aree densamente costruite. Infine, poiché le suddette strategie sono considerate spesso solo nelle ultime fasi del progetto, esse vengono prevalentemente percepite come un costo aggiuntivo e quindi trascurate o addirittura scoraggiate.

I risultati della sesta sezione, volta a valutare la comprensione di mappe ecologiche da parte degli intervistati, hanno mostrato come queste siano ritenute nel complesso (da moderatamente a molto) utili come strumento compositivo, in particolare la 'land use suitability' e i 'vegetation profiles' (Tabb. 5a e 5b). Nello specifico, è emerso che la scala (livello di dettaglio) e la restituzione grafica (risoluzione) delle informazioni ecologiche siano considerate rilevanti. Un giudizio altrettanto positivo è stato espresso per pittogrammi e schemi come quelli rappresentati nell'opzione 'designed structures and habitats'. Alcuni degli intervistati hanno anche affermato che una relazione tecnico-scientifica che contenga i requisiti ecologici delle specie target corredato da mappe ecologiche, commentate ed esplicitate, sia necessaria per un uso consapevole delle informazioni ambientali. Quest'ultimo aspetto rispecchia la prassi consolidata che si verifica nei gruppi di lavoro multidisciplinari in cui diversi professionisti trasferiscono le loro competenze attraverso la produzione di documentazione specialistica. Sembra confermare questa interpretazione il fatto che i formati .dwg, .pdf e .dxf siano risultati essere i formati in cui sarebbe preferibile rendere disponibili i dati e le diverse rappresentazioni grafiche.

Inoltre, mappe e modelli 3D che rappresentino la struttura della vegetazione, gli habitat, ma anche le barriere infrastrutturali che influenzano il movimento e la dispersione delle specie sono state valutate come altrettanto utili. È interessante notare che il formato standard .ifc (industry foundation class) non figurava tra le tre opzioni più comuni (insieme a .3dm, .skp, .rvt e .obj). A questo proposito, i progettisti sarebbero favorevoli all'introduzione di discipline ecologiche di base nei loro curricula e di tematiche come l'ecologia urbana e le relazioni habitat-specie, nonché le connessioni tra diversi ecosistemi. In questo contesto, le competenze legate alla comprensione dei sistemi di paesaggio e dei servizi ecosistemici, definiti come i benefici che le popolazioni umane traggono, direttamente o indirettamente, dalle funzioni ecosistemiche, sono viste dalla maggior parte degli intervistati

| Typology             | Description  | Examples   |
|----------------------|--|--|
| Self-contained       | Independent constructions intended for wildlife occupation as freestanding assemblies or attached to the building facade. Often, these objects are different in terms of materials or aesthetics from the rest of the building structure or landscape where they are inserted. This approach allows for ease of relocation or modification as needs arise. | Artificial nesting boxes, beehives, lizard slabs, roosting platforms and feeding structures  |
| Inserted-Habitat     | Similar elements to self-contained habitats, except that the habitat space is physically integrated into the building as distinct component.   | Prefabricated modular construction elements and bespoke solutions providing habitat for bird nesting, bats roosting, insect hotels and plant hosting modules.    |
| Envelope-Habitat     | Wildlife habitat features integrated across a façade or surface, so that they are part of the whole building. Intentional incorporation allows for creative design solutions. Envelope habitats may encourage transient wildlife rather than permanent occupation or nesting activity  | Green walls and roofs, as well as ad-hoc modular construction elements and solutions providing habitat   |
| Green Infrastructure | Designed ecosystems as a crossovers between architecture, landscape and urban design. It is intended towards higher ecosystem services as it is often coupled with ecological corridors and recreational areas, but also storm water and air quality management ones.  | Several greeneries and habitats around and on the building including terraces, balconies, containers, facades, allays, parks, private gardens, green allotments. |

Tab. 4 | Typologies of integrated and systemic solutions for building envelopes following Stokes and Chitrakar (2012) considered in the questionnaire.

come cruciali (Bolund and Hunhammar, 1999).

**Analisi Ecologica di specie target** | L'analisi ecologica è stata effettuata a scala territoriale per i comuni di Wädenswil e Richterswil nel Canton Zurigo (Fig. 2a), e rispettivamente a scala urbana ed architettonica per il Campus Grüental dell'Università di Scienze Applicate di Zurigo a Wädenswil (Fig. 2b) e l'edificio principale (GA) del Campus (Fig. 2c). La selezione delle specie target avifaunistiche e l'analisi della loro distribuzione è stata eseguita in base a un'indagine che ha valutato l'uso di cassette di nidificazione tra le 52 collocate intorno al Campus Grüental<sup>1</sup>, prendendo in considerazione le esigenze comuni tra le specie e la potenziale integrazione sull'involucro dell'edificio GA. In sintesi, per poter essere scelta, la specie doveva essere presente nell'area di studio e preferire come habitat gli insediamenti urbani e gli ecotoni (habitat che circondano l'edificio GA). Per completare il set di dati distribuzione a scala territoriale, sono stati richiesti al Centro Svizzero d'Informazione sulle Specie InfoSpecies e all'Istituto Ornitologico Svizzero, i punti di osservazione esatti degli uccelli selezionati. Tutte le coordinate sono state importate come feature puntiforme in ArcGIS Pro (2020) per ulteriori analisi spaziali.

Il processo di analisi ecologica proposto (Fig. 3) è stato ispirato da studi simili (Li et alii, 2002; Liang and Li, 2012; Store and Jokimäki, 2003) al fine di generare le carte ecologiche per l'idoneità delle specie target. Per generare l'Habitat Suitability Index (HSI), ovvero l'indice d'idoneità degli habitat, è stato richiesto un parere a esperti del settore per valutare, in base a una scala predefinita,

le categorie di copertura del suolo (NOAS04) e i profili di vegetazione (VP): le prime seguono la nomenclatura svizzera standard per l'uso del suolo (Federal Statistical Office, 2014) e constano all'interno dei confini comunali di 51 categorie, i secondi derivano dai profili di manutenzione del campus universitario (Brack et alii, n.d.) per un totale di 35 categorie. I punteggi dell'indice HSI sono stati espressi su una scala che va da 0 a 2, dove 0 è associato a 'nessuna influenza positiva' (compresi gli effetti negativi), 1 a 'influenza positiva' e 2 a 'influenza ottimale'. Le singole mappe sono state quindi analizzate e sovrapposte per ottenere una mappa generale di idoneità delle specie target basata sull'HSI, i requisiti di foraggiamento e di covata.

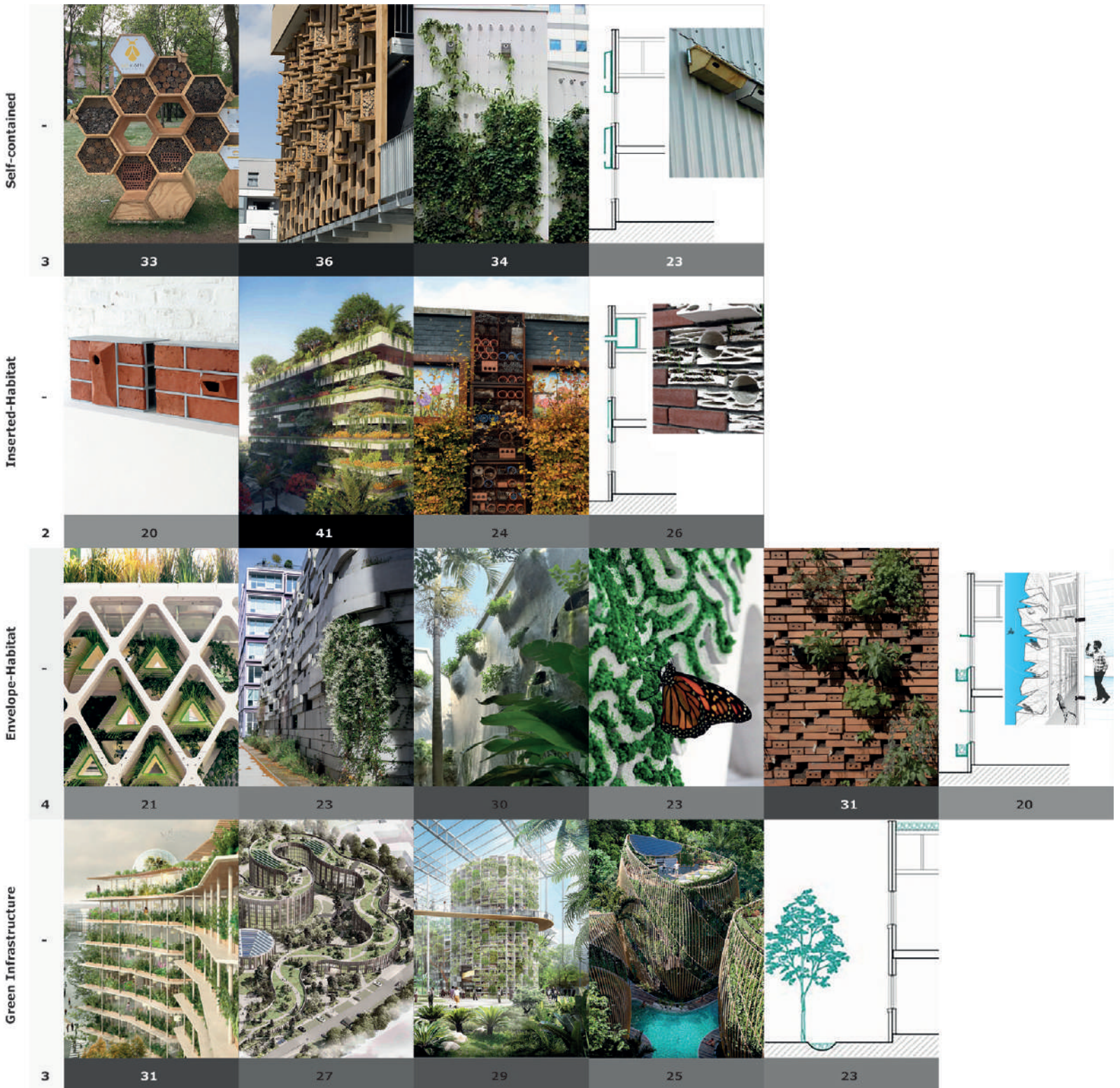
Riguardo le specie target e le mappe ecologiche, la Tabella 6 mostra le sei specie che hanno soddisfatto i parametri di selezione e l'Habitat Suitability Index (HSI) relativo a VP e NOAS04. L'elevata differenza di aree valutate positivamente o negativamente tra l'HSI-VP e l'HSI-NOAS04 suggerisce che mappe dettagliate basate su indagini sul campo (ad esempio, VP) sono necessarie per concepire un involucro edilizio meglio integrato nell'ambiente. Allo stesso tempo, mappe meno dettagliate ma gratuitamente accessibili e che coprono una scala più ampia (ad esempio, NOAS04) sono fondamentali per raccogliere un'indicazione sull'idoneità complessiva dell'habitat che circonda il caso di studio (in questo caso le due Municipalità). La combinazione delle due mappe di base (VP e NOAS04) ha permesso di determinare l'HSI per l'intero territorio comunale a scala e risoluzione diverse (Figg. 4a-4c).

#### Bird Nesting Aid: una procedura parametrica |

La modellizzazione e la parametrizzazione sono state sviluppate utilizzando Autodesk Revit 2022 e Dynamo Revit (v2.10.1.4002), un software di programmazione visiva usato per testare le capacità d'interazione della famiglia BIM Bird Nesting Aid (di seguito BNA) con informazioni ecologiche (ad esempio, mappe d'idoneità dell'habitat e requisiti di nidificazione).

La modellizzazione BIM parametrica è stata eseguita seguendo i tre passaggi che seguono (Fig. 5): a) Redazione di una tabella Excel con dimensioni specifiche della specie target per la nidificazione (i parametri BNA) derivate dalle linee guida delle cassette di nidificazione proposte da BirdLife Svizzera (2019), ovvero la distanza da terra, la larghezza, l'altezza anteriore, l'altezza posteriore, la distanza di apertura dal pannello superiore e il raggio di apertura; b) Modellizzazione del BNA parametrico, ovvero creazione di una famiglia Revit wall-based i cui parametri e vincoli coincidono con le dimensioni indicate nel foglio di calcolo Excel redatto nella fase precedente, inclusa la generazione di diversi piani e linee di riferimento necessari per il posizionamento e orientamento sul prospetto d'inserimento; c) Impostazione dello script visivo (eseguito in un'interfaccia più user-friendly con l'ausilio di Dynamo Player) del plug-in di Revit Dynamo per consentire l'interazione tra la tabella Excel, contenente i requisiti dimensionali di nidificazione, e l'elemento BIM parametrico in modo da adattare i parametri e le dimensioni in tempo reale in base alla specie target preposta.

Il BNA modellizzato in Revit è consistito, a titolo esemplificativo, in una semplice cassetta di ni-



**Fig. 1** | Design approach and typologies evaluation. The numbers above the figures represent the cumulative preference expressed by respondents; the cells were coloured accordingly with a grayscale gradient (white = minimum value, black = maximum value). The '-' refers to the respondents who discarded all the proposed options for each typology.

dificazione (Fig. 6a). Tutti i parametri, tranne il 'panel thickness' che è stato impostato come parametro 'type', sono del tipo 'instance' cioè in grado di variare per ogni elemento distinto BNA inserito nel modello di progetto (Fig. 6b). Lo script Dynamo adottato consta di tre fasi (Fig. 7a): 1) eseguire lo script Get Excel per leggere il file Excel ed estrapolare i nomi dei parametri (intestazioni) e le relative informazioni; 2) eseguire lo script Bird Nesting Aid per consentire la selezione e la modifica delle dimensioni dell'elemento BIM in base ai valori forniti dalla prima parte; 3) eseguire lo script Visual

Output per visualizzare l' 'id' e il 'name' delle specie target su un'interfaccia più user-friendly (Fig. 7b). L'elemento BIM 3D, grazie al lettore Dynamo, può essere adattato e modificato in tempo reale in relazione alle dimensioni delle specie target selezionate.

**Riflessioni conclusive** | La trasformazione digitale in corso sta spingendo i progettisti verso approcci che si avvalgono di tecnologie emergenti, di strumenti per l'analisi spaziale ed ecologica, e di una crescente collaborazione multidisciplinare con

ecologi e ingegneri ambientali. Come affermato da Dorney (1973), è quindi fondamentale per gli ecologi comprendere la filosofia, la metodologia e gli obiettivi delle discipline compositive e ingegneristiche al fine di sintetizzare le informazioni relative alla struttura e alla funzione degli ecosistemi in una forma utilizzabile e comprensibile da ingegneri, architetti, architetti del paesaggio e pianificatori.

I risultati del questionario hanno evidenziato che, anche se gli intervistati sono stati in grado di leggere e contestualizzare le mappe ecologiche e hanno mostrato una buona consapevolezza di

metodi e approcci a supporto degli ecosistemi naturali, la loro disponibilità ad adottarli sembrerebbe essere scoraggiata dalla mancanza di norme, misure legislative e, di conseguenza, di investimenti adeguati. Allo stesso tempo, i risultati confermano una delle intuizioni innovative alla base dell'approccio 'design for nature' introdotto da Catalano et alii (2021) cioè l'applicazione di strumenti di simulazione ecologica come, ad esempio, i modelli di distribuzione spaziale di habitat e specie in base a determinate condizioni microclimatiche e morfologiche in architettura, design e urbanistica. Ne consegue che per un cambiamento paradigmatico verso una progettazione inclusiva e biodiversa, i decisori dovrebbero incentivare e motivare progettisti e pianificatori a collaborare con naturalisti e ingegneri ambientali per poter interpretare in chiave compositiva ed architettonica i dati ecologici.

Inoltre, come affermano Zanni, Soetanto e Ruitkar (2017), per fare un passo avanti verso lo sviluppo sostenibile, coadiuvato da nuove tecnologie (software, hardware e network), è necessario applicare un approccio strutturato, sistematico e centralizzato, creando cioè un Common Data Environment (CDE), un luogo virtuale dove raccogliere, gestire, condividere le informazioni e coordinare le azioni. A tal proposito, tra le questioni applicative da risolvere si dovrebbero annoverare non solo l'individuazione di un obiettivo comune tra le differenti figure professionali coinvolte, ma anche l'interoperabilità tra software comunemente usati, soprattutto tra gli ambienti GIS e BIM. Tale questione è attualmente affrontata da una cooperazione tra Autodesk ed ESRI che ha sviluppato il GeoBIM, una piattaforma web innovativa e facile da usare dove elaborare modelli BIM e collaborare interagendo con dati, provenienti da più sistemi, in un contesto spazialmente georiferito.

Il caso studio del modello BNA-BIM, presentato in questo contributo, è stato pensato come strumento agile e interattivo per visualizzare e integrare soluzioni costruttive sensibili alla flora e fauna selvatica in ambiente BIM. Lo script Dynamo potrebbe essere ulteriormente sviluppato per migliorare l'interazione tra l'elemento BIM e i parametri ambientali, ad esempio per automatizzare il posizionamento dell'elemento BNA-BIM sul prospetto più adatto e sulla base di mappe ecologiche e altri parametri ambientali, come la simulazione microclimatica. In presenza di un modello BIM-3D georeferenziato, l'istanza BNA potrebbe essere posizionata con esposizione e altezza ottimali in base alla distanza da usi del suolo e tipi di vegetazione idonei.

Prendendo spunto da questo caso studio, si potrebbe creare una libreria BIM di elementi 3D integrati per facciate, sviluppati secondo le necessità e i requisiti di diverse specie target come rettili, insetti e 'sistemi di vegetazione' che consenta, quindi, ai progettisti di tener conto del contesto ambientale e biologico fin dalle prime fasi del progetto. Come evidenziato da von Richthofen et alii (2018), la modellazione parametrica può aprire la strada ad approcci di progettazione espliciti, logici e replicabili, rendendone trasparente i processi e assicurandone l'applicabilità in altri contesti.

As a result of an increasing number of inhabitants, cities are becoming more densely populated and

| LS | Land Use | Population Viability <sup>1</sup> | Presence Density <sup>2</sup> | Movement Ability <sup>1</sup> | Land Use Suitability |
|----|----------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 5  | 38%      | 30%                               | 35%                           | 28%                           | 45%                  |
| 4  | 42%      | 47%                               | 32%                           | 40%                           | 33%                  |
| 3  | 17%      | 17%                               | 22%                           | 22%                           | 13%                  |
| 2  | 2%       | 5%                                | 7%                            | 5%                            | 5%                   |
| 1  | 2%       | 2%                                | 5%                            | 5%                            | 3%                   |

**Tab. 5a** | Ecological map Evaluation. Likert Scale (LS): 1 = not useful; 2 = slightly useful; 3 = moderately useful; 4 = very useful; 5 = highly useful.

Note 1: Species viability and movement ability were modelled with SimOiko software (developed by TerrOiko); the dynamics of the metapopulation (viability and dispersion) are simulated according to the fecundity or the ability of a species to cross a certain land use.

Note 2: The species presence probability per pixel (density) was modelled by BIOMOD2 using climatic and land use data at the Switzerland level.

| LS | Site Vegetation Profiles | Site Vegetation Profiles Suitability | Habitat Suitability | 3D-Habitat Suitability | Designed structures and habitats |
|----|--------------------------|--------------------------------------|---------------------|------------------------|----------------------------------|
| 5  | 47%                      | 37%                                  | 33%                 | 32%                    |                                  |
| 4  | 35%                      | 32%                                  | 38%                 | 30%                    | 32%                              |
| 3  | 15%                      | 22%                                  | 22%                 | 20%                    | 10%                              |
| 2  | 2%                       | 8%                                   | 2%                  | 10%                    | 0%                               |
| 1  | 2%                       | 2%                                   | 5%                  | 8%                     | 2%                               |

**Tab. 5b** | Ecological map Evaluation. Likert Scale (LS): 1 = not useful; 2 = slightly useful; 3 = moderately useful; 4 = very useful; 5 = highly useful.



Fig. 2 | Study cases: a) Joint boundaries of the municipalities of Wädenswil and Richterswil (Switzerland) considered for the habitat suitability analysis in this study (base map esri ArcGIS pro); b) Campus Grüental perimeter; c) GA Building of Campus Grüental (Base maps a and b, esri ArcGIS pro; Orthophoto c, map.geo.admin.ch/).

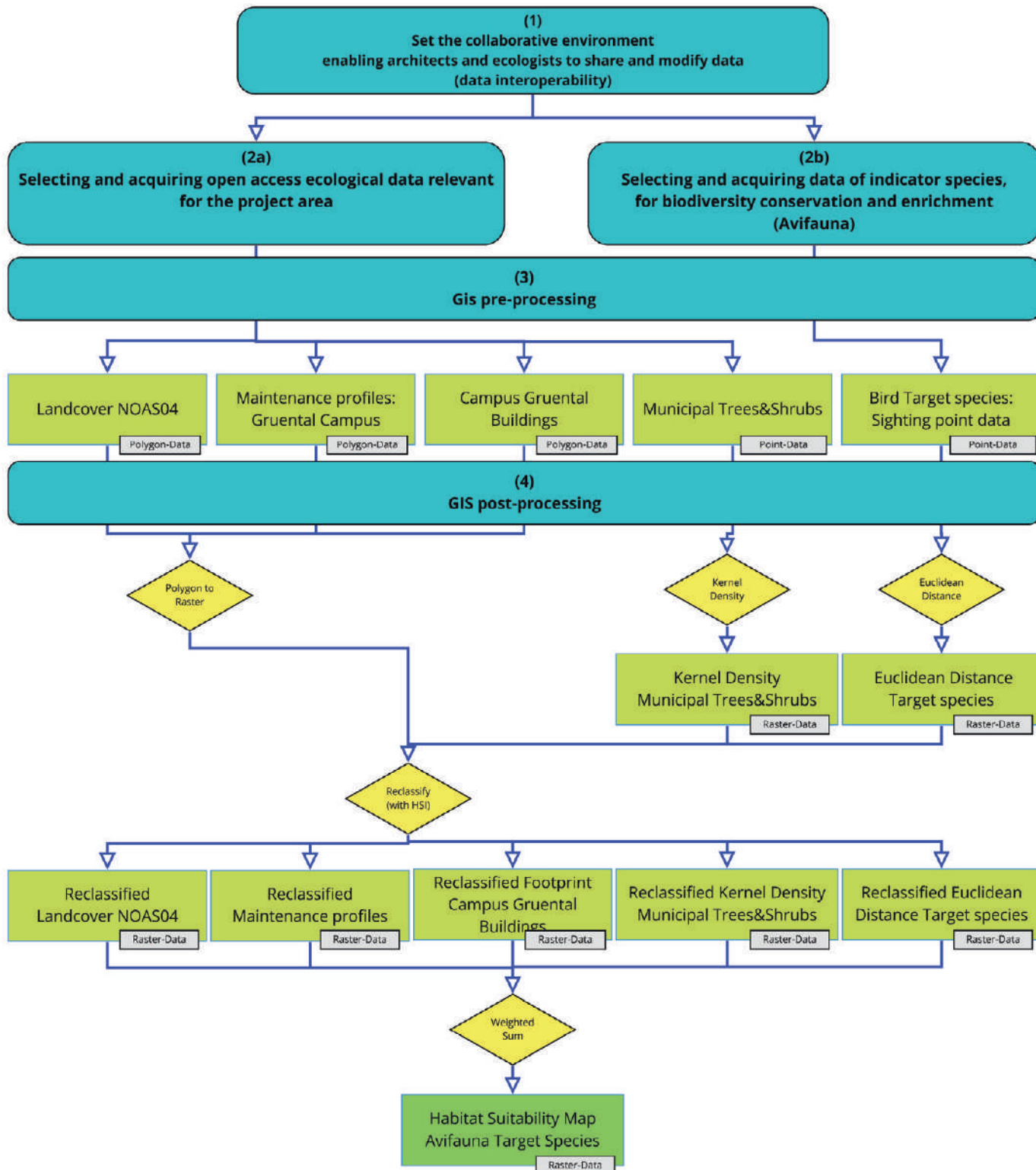


Fig. 3 | GIS-based Ecological Analysis Flowchart.

| Taxon                       | Trivial name          | Habitat <sup>1</sup>                    | Status/Danger <sup>1</sup>  | HIS Expert-based estimation |       |       |       |
|-----------------------------|-----------------------|---|---|-----------------------------|-------|-------|-------|
|                             |                       |   |   | Base maps                   | 0     | 1     | 2     |
| <i>Cyanistes caeruleus</i>  | Eurasian Blue Tit     | Deciduous forest, orchards, settlements | Common breeding resident (Least Concern, LC)                            | VP                          | 28,6% | 40,0% | 31,4% |
|                             |                       |   |   | NOAS04                      | 49,0% | 37,3% | 13,7% |
| <i>Parus major</i>          | Great Tit             | Orchards, forest, settlements           | Common breeding resident (LC)   | VP                          | 28,6% | 40,0% | 31,4% |
|                             |                       |   |   | NOAS04                      | 49,0% | 37,3% | 13,7% |
| <i>Hirundo rustica</i>      | Barn Swallow          | Farmland, settlements                   | Regular, common breeder and migrant, extremely rare winter visitor (LC) | VP                          | 14,3% | 57,1% | 28,6% |
|                             |                       |   |   | NOAS04                      | 49,0% | 39,2% | 11,8% |
| <i>Phoenicurus ochruros</i> | Black redstart        | Alpine habitats, settlements            | Regular, common breeder and migrant, scarce winter visitor (LC)         | VP                          | 14,3% | 57,1% | 28,6% |
|                             |                       |   |   | NOAS04                      | 25,5% |       | 2,0%  |
| <i>Passer domesticus</i>    | House Sparrow         | Farmland, settlements                   | Common breeding resident (LC)   | VP                          | 22,9% | 40,0% | 37,1% |
|                             |                       |   |   | NOAS04                      | 35,3% | 54,9% | 9,8%  |
| <i>Passer montanus</i>      | Eurasian Tree Sparrow | Farmland, orchards, settlements         | Common breeding resident (LC)   | VP                          | 22,9% | 40,0% | 37,1% |
|                             |                       |   |   | NOAS04                      | 64,7% | 27,5% | 7,8%  |

**Tab. 6 |** Target species selected and Habitat Suitability Index (HSI). The table shows the cumulative percentage of HSI for VP = Vegetation Profiles with a total of 35 categories related to the campus perimeter; NOAS04 = Swiss Land Use Statistics standard nomenclature with 51 land use categories within the municipalities' perimeter; the cells were coloured accordingly where 'white' was assigned to the minimum value and 'black' to the maximum; 0 = none or neutral influence; 1 = positive influence; 2 = optimal influence.

'sprawled', thus putting a strain on social systems, health care and infrastructure, and putting more pressure on the environment and natural ecosystems (Apfelbeck et alii, 2020); in fact, environmental fragmentation and degradation, habitat loss and the effects of ongoing climate change have caused a serious and sudden decline in global biodiversity (Grimm et alii, 2008). A strategy to address issues on an urban scale, such as adaptation to climate change, environmental justice and biodiversity conservation, has been to utilize the ecosystem services that are provided by green areas and spaces (formal and informal). This suggests that although increasing urbanization currently has a negative impact on biodiversity, it also represents an excellent opportunity to experiment with alternative models of sustainable development, which take ecosystems and their conservation into account (Opoku, 2019).

If we agree with the 'net-positive' design view (Birkeland, 2008), which posits that the built environment should give back more to the natural environment than it consumes, then buildings should not only become 'eco-productive', but they should also compensate for the environmental impact caused by previous development, by giving space to indigenous ecosystems, while increasing ecosystem services in absolute terms (Birkeland, 2009). For this to happen, the future of urban biodiversity depends closely on interdisciplinary cooperation (Ignatieva, 2010) and the integration of biological conservation objectives into planning at different scales (Garrard et alii, 2018). Therefore, on the one hand, ecologists should be involved from the earliest stages of design (Miller et alii, 2012), and on the other hand, designers should be involved in the planning of conservation measures (Ross et alii, 2015).

Emerging technologies such as GeoBIM (Morretti et alii, 2021), which is the recent combination

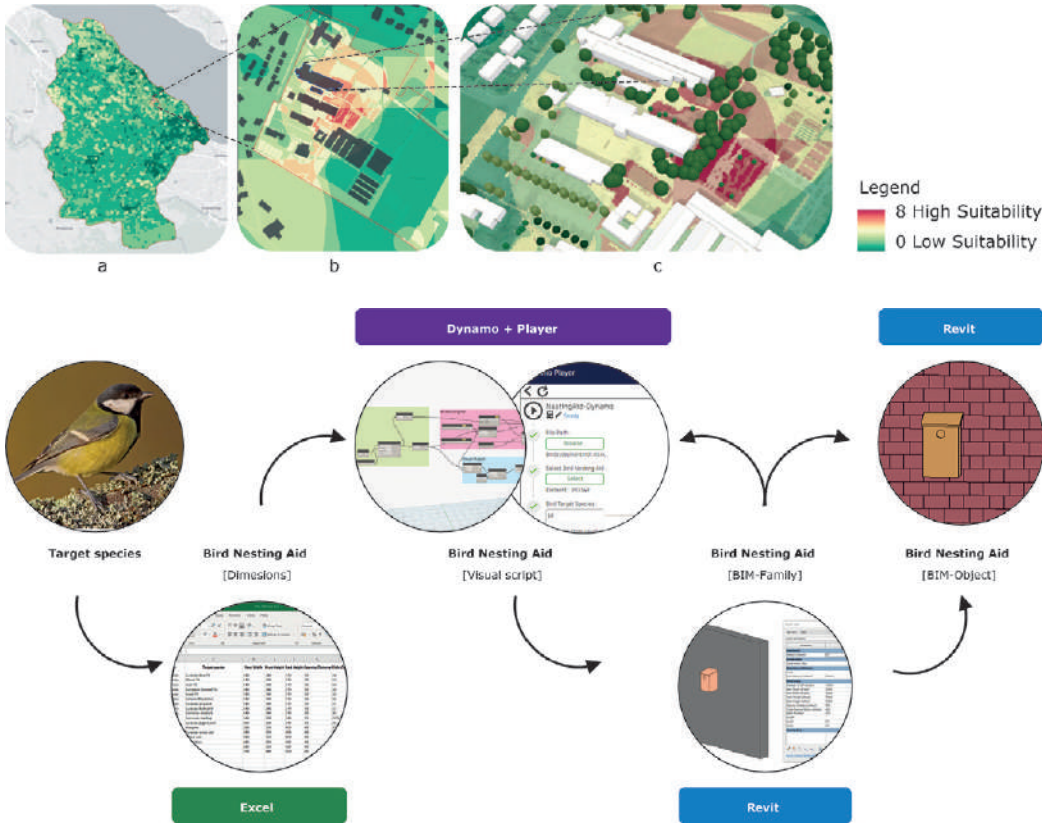
of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information Systems (GIS), show how an emphasis on collaboration between designers and ecologists can result in the identification of solutions which promote higher environmental quality (Moura and Campagna, 2018). In this regard, differing methods and approaches which use ecological knowledge as a design tool have already been developed. Some examples of this are Animal Aided Design (AAD), which was initiated by Weisser and Hauck (2017), and Biodiversity Sensitive Urban Design (BSUD), which was developed by Garrard and Bekessy (2015). The AAD approach can be applied to the design of urban open spaces by integrating the life cycles of some target species and biodiversity conservation objectives into the planning stages (Apfelbeck et alii, 2019, 2020); the BSUD approach aims at supporting biodiversity in a localised but not restricted manner, by creating new habitats that favour the movement of organisms through different urban development types and densities (Garrard et alii, 2018). In addition to the abovementioned approaches, Gunnell, Murphy and Williams (2019) have published a technical guide called Designing for Biodiversity, which illustrates how to integrate the species that usually nest on buildings (e.g., birds and bats) into both new and existing (low or zero-emission) buildings in the UK, based on their vital needs.

However, the consideration of environmental data or the life cycle of some target species in the architectural project is not yet mainstreamed and often depends on the specific objectives of the project or the philosophy of the working group; in fact, there is still uncertainty about which factors and incentives might motivate planners and architects to integrate spatial and ecological analyses from the early design stages, and to consider cer-

tain biological aspects related to wildlife. This should be an integral part of the architectural design and construction process to create real 'ecolopes' (Ludwig, Hensel and Wolfgang, 2021).

**Research Objectives |** The specific objective of the present study is to optimize tools and methods of cooperation between ecologists and designers through 1) the integration of habitat suitability maps into design methods; and 2) the adoption of parametric procedures which support selected wild species by automating the integration of specific BIM elements into the building envelope. The present study was conducted as part of an international project called Design and Modelling of Urban Ecosystems – A spatial-based approach to integrating habitats into built ecosystems (DeMo) which aims to develop a multidisciplinary framework and approach for the design of ecosystems in built areas and facilitates the colonization and displacement of animal and plant species (Catalano et alii, 2021).

**The questionnaire |** To gain insights into the level of awareness and readiness to adopt design strategies inspired by ecological criteria, the online questionnaire 'Data Interoperability for Ecological and Spatial Oriented Design in AEC' was prepared on Google Forms. Addressing professionals, academics and students who are active in the fields of Architecture, Engineering and Construction (AEC), a link to the questionnaire was shared in four ways (Table 1): sent by e-mail to personal contacts (A) and experts listed in the repositories of the Swiss Association for Sustainable Construction (B), published on A. Balducci's LinkedIn profile (C), or proposed as an activity to Landscape Architecture and Architecture students by C. Catalano during a lesson held for the Laboratory of Garden Art and



**Fig. 4** | Habitat suitability maps of the Eurasian Blue Tit based on the HSI, the foraging and brooding requirements: a) Landscape-scale generated on the base of NOAS04; b) Urban/building scale 2D View; c) Campus – 3D View, both generated by the combination of NOAS 04 and PV. The dashed red lines indicate the campus perimeter (a, b) and the GA-building (c). The colour coding represents the level of habitat suitability for the target species from green (low) to red (high).

**Fig. 5** | Parametric modelling workflow. Interaction among Excel (input data based on species requirements), Revit (parametrized BIM-Object) and Dynamo + Player (used to enable the interaction among Excel and Revit to obtain the final target species-specific BIM object).

Landscape Architecture at the University of Palermo (D). The questionnaire contained 43 elements (questions) grouped into 6 sections (Table 2). Participants' names were coded by the respondent pool, in chronological order, and grouped into six main job categories, while responses were grouped by the respondents' type, category, and work experience (Table 3). Considering that the questions were multiple choice and that some respondents represented more than one professional category, a new 'multidisciplinary' category was retrospectively added. The sharing of the link to the questionnaire through these channels produced four pools of respondents who were numerically very different from each other, and whose answers were therefore grouped and subsequently analysed in Excel (Build 13801.21092).

Out of a total of 60 respondents, half were architects, 21% were landscape architects, 8% were interviewees with a multidisciplinary profile, 5% were planners and 5% were environmental engineers. Agronomists, environmental planners, sustainability consultants and GIS specialists were represented by only 2%. The professional respondents were mainly students (56.7%), followed by members of the private sector (20%) and researchers (5%). From these descriptive results, an over-representation of the category 'architects' emerges, which makes the survey statistically not very robust. Furthermore, it must be taken into account that almost half of the respondents were Italian architecture students, so the results cannot be considered representative of either the profes-

sional category or the international landscape. In a future study, data should be collected over a longer period by exploiting additional interactive dissemination channels such as seminars and workshops.

The questions aimed at determining the users' perspective were evaluated using a Likert scale with values ranging from 1 to 5, in which 1 was equal to 'totally disagrees' and 5 to 'totally agrees'. More than half of the respondents 'agreed' or 'totally agreed' with the idea of integrating strategic biodiversity conservation and protection programmes into urban planning, by involving ecologists in interdisciplinary design and planning groups from the beginning (Section 4). This result highlighted how aware designers are of the tools put in place to support urban biodiversity in different European contexts and that they are willing to adopt approaches based on multidisciplinary dialogue.

Among approaches such as Geodesign, AAD, Wildlife-Inclusive Urban Design, BSUD, Property-specific Biodiversity Index (DGNB System, 2020), and Nature-Based Solutions (European Commission, 2015), the latter was the best known, followed by the BSUD and the Singapore Index (Chan et alii, 2014). However, some ambiguities emerged regarding the concept of 'sustainability' (Hassan and Lee, 2015), which is mostly associated with energy efficiency and the use of sustainable materials, neglecting the ecosystem aspect (Gunnell, Murphy and Williams, 2019). It is therefore not surprising that a proper assessment of biotope quality or biodiversity measures is not often considered in urban environmental sustainability as-

sessments and standards (Catalano et alii, 2021).

As many as 67% of the respondents expressed a willingness to implement approaches that support target species in future projects, even without the explicit request from the contractors or the technical specifications of the project. As much as 33% showed a willingness to implement such strategies, while no one ruled out the possibility of doing so. Nevertheless, several obstacles were brought to light, such as the specific project program, uncertainty concerning how to select the target species, an alleged increase in costs due to the implementation and maintenance of measures aimed at promoting biodiversity, and above all, a lack of legislative measures and specific norms. In general, these results suggest that the respondents, whose willingness to complete the questionnaire may indicate the fact that they were already familiar with biodiversity supporting strategies, may have already been sensitive to the proposed topic/approach.

In the fifth section of the questionnaire, the respondents were asked to express a preference for different types of design solutions (Table 4) which address the biodiversity-architecture relationship in a gradual manner (Stokes and Chitrakar, 2012). Among the different types of integrated solutions (Fig. 1), the interviewees evaluated the 'self-contained habitat' as not satisfactory from an aesthetic and compositional point of view, preferring solutions which can be better integrated within the building envelope, such as the 'inserted-habitat' and the 'envelope-habitat'. However, the former has been criticized because it remains distinct from the envelope – as in the case of prefabricated solutions – while the latter has been criticized because of its cost and due to the grey energy which goes into the extensive production of reinforced concrete.

Finally, the term 'green infrastructure' has been questioned because it is often treated and misunderstood as a technological solution, not necessarily combined with conscious greening. In addition, according to some of the respondents (open answers), the biodiversity supporting measures as promoted in the AEC sector mostly target open green spaces, neglecting the most densely built areas. Finally, since these strategies are often considered only in the last stages of the project design and implementation, they are predominantly perceived as an additional cost and therefore neglected or even discouraged.

The results of the sixth section, aimed at assessing the respondents' understanding of ecological maps, showed how overall these maps are considered (moderately to very) useful as a compositional tool, in particular, the 'land use suitability' and the 'vegetation profiles' (Table 5a and 5b). Specifically, it emerged that the scale (level of detail) and graphic restitution (resolution) of the ecological information are considered relevant. An equally positive opinion was expressed for pictograms and schemes such as those represented in the 'designed structures and habitats' option. Some of the respondents also stated that a technical-scientific report containing the ecological requirements of the target species accompanied by ecological maps, which are commented on and explained, is necessary for a conscious use of environmental information. This reflects the established practice that occurs in multidisciplinary

working groups, in which different professionals transfer their expertise through the production of specialist documentation. This interpretation seems to be confirmed by the fact that the .dwg, .pdf and .dxf formats are the formats in which it would be preferable to make data and different graphic representations available.

Moreover, maps and 3D models representing the vegetation structure, habitats, and also infrastructural barriers influencing species movement and dispersion were considered equally useful. Interestingly, the standard .ifc (industry foundation class) format was not among the three most common options (along with .3dm, .skp, .rvt, and .obj). In this regard, designers would be in favour of introducing basic ecological disciplines into their curricula and themes such as urban ecology and habitat-species relationships, as well as connections between different ecosystems. In this context, understanding landscape systems and ecosystem services, defined as the benefits that human populations derive, directly or indirectly, from ecosystem functions, is also seen by most respondents as crucial (Bolund and Hunhammar, 1999).

**Ecological Analysis of target species** | An ecological analysis was carried out on a territorial scale for the municipalities of Wädenswil and Richterswil in the canton of Zurich (Fig. 2a), and respectively on an urban and architectural scale for the Grüental Campus of the Zurich University of Applied Sciences in Wädenswil (Fig. 2b) and the main building (GA) of the University Campus (Fig. 2c). A selection of a target bird species and an analysis of their distribution was carried out based on a survey which evaluated the use of nesting boxes among the 52 locations around the Grüental Campus<sup>1</sup>, taking into account the common needs between the species and the potential integration with the GA building envelope. In summary, to be chosen, the species had to be present in the study area and prefer urban settlements and ecotones (habitats surrounding the GA building) as habitats. To complete the spatial distribution dataset, the selected bird observation points were requested from the Swiss Species Information Centre InfoSpecies and the Swiss Ornithological Institute. All coordinates were imported as point features into ArcGIS Pro (2020) for further spatial analysis.

The proposed ecological analysis process (Fig. 3) was inspired by similar studies (Li et alii, 2002; Liang and Li, 2012; Store and Jokimäki, 2003) which set out to obtain target species' ecological and suitability maps. To generate the Habitat Suitability Index (HSI), an expert opinion was requested to assess, based on a predefined scale, both land cover categories (NOAS04) and vegetation profiles (VP): the first followed the standard Swiss nomenclature for land use (Federal Statistical Office, 2014) and consisted of 51 categories within the municipal boundaries, and the latter derived from the maintenance profiles of the university campus (Brack et alii, n.d.) for a total of 35 categories. The HSI index scores were expressed on a scale ranging from 0 to 2, where 0 was associated with 'no positive influence' (including negative effects), 1 with a 'positive influence' and 2 with an 'optimal influence'. The individual maps were then analysed and superimposed to obtain a general suitability map for the target species based on the HSI, and the foraging and the brood requirements.

Regarding the target species and ecological maps, Table 6 shows the six species that met the selection parameters and the Habitat Suitability

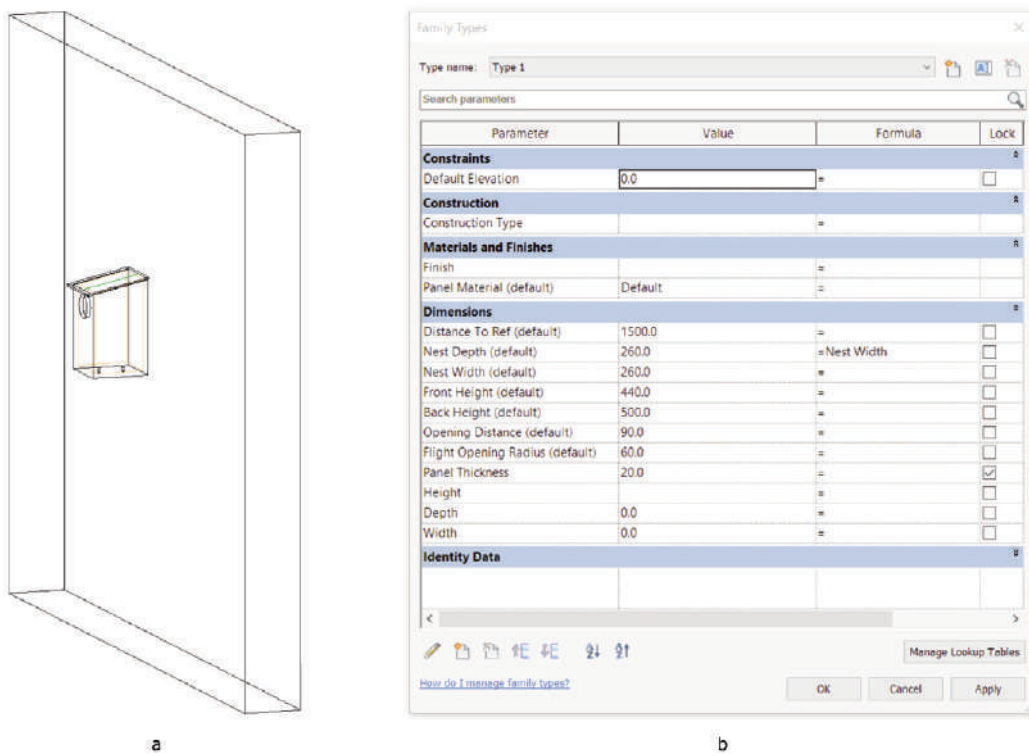
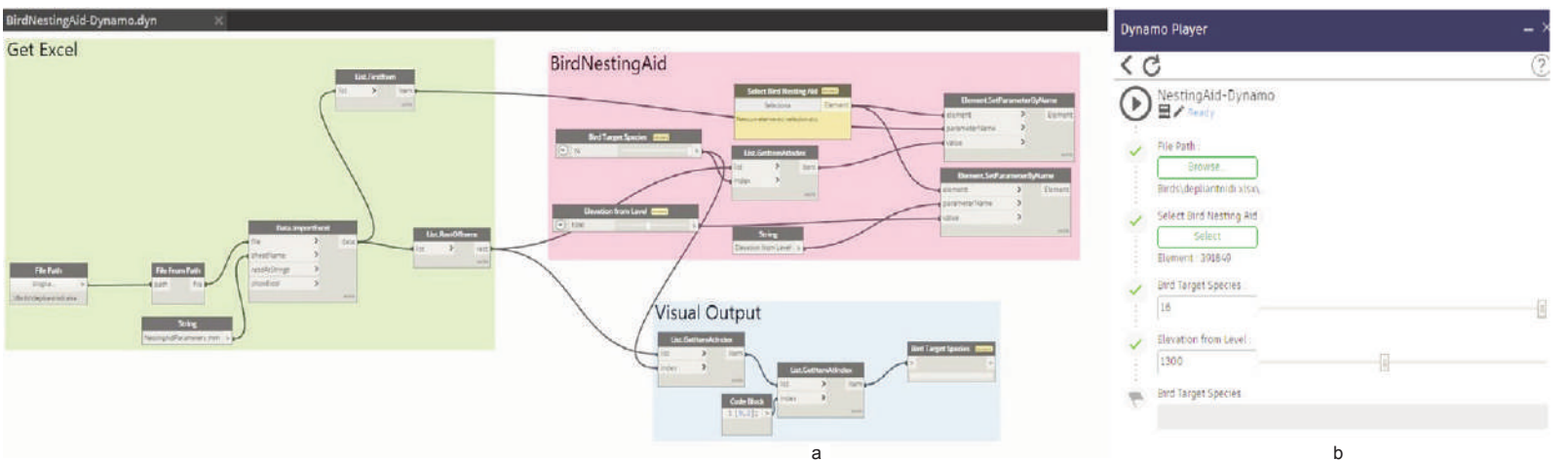


Fig. 6 | Revit Family model: a) 3D-View; b) Family Parameters.

Fig. 7 | Bird Nesting Aid implemented in Revit with Dynamo (a) and Dynamo player user interface (b).





Index (HSI) for VP and NOAS04. The high difference in positively or negatively assessed areas between HSI-VP and HSI-NOAS04 suggests that detailed maps based on field surveys (e.g., VP) are needed to design a building envelope that is better integrated into the environment. At the same time, less detailed but freely accessible maps covering a larger scale (e.g., NOAS04) are critical to assessing the overall suitability of the habitat surrounding the case study (in this case the two municipalities). The combination of the two base maps (VP and NOAS04) made it possible to determine the HSI for the entire municipal territory at different scales and resolutions (Fig. 4a-4c).

**Bird Nesting Aid: a parametric procedure** | The modelling and parameterization were developed using Autodesk Revit 2022 and Dynamo Revit (v2.10.1.4002), a visual programming software used to test the interaction capabilities of the BIM Bird Nesting Aid family (hereinafter BNA) with ecological information (e.g., suitability maps of the habitat and nesting requirements).

The parametric BIM modelling was carried out following three steps (Fig. 5): a) Drafting of an Excel table with specific dimensions of the target species for nesting (the BNA parameters) derived from the nesting box guidelines proposed by BirdLife Switzerland (2019), namely the distance from the ground, the width, the front and the rear height, the opening distance from the top panel and the opening radius; b) Modelling of the parametric BNA by creating a wall-based Revit family whose parameters and constraints coincided with the dimensions indicated in the Excel table which was drawn up in the previous phase, and generation of different planes and reference lines to obtain position and orientation constraints on the facade; c) Setting up the visual script (executed in a more user-friendly interface with the help of Dynamo Player) of the Revit Dynamo plug-in to allow interaction between the Excel table, containing the nesting dimensional requirements, and the parametric BIM element in order to adapt the parameters and dimensions in real-time according to the target species in question.

The BNA modelled in Revit consisted, as an example, of a simple nesting box (Fig. 6a). All parameters, except the 'panel thickness' which was set as the 'type' parameter, are of the 'instance' type i.e., able to vary for each distinct BNA element inserted in the model (Fig. 6b). The Dynamo script consisted of three phases (Fig. 7a): 1) Run the Get Excel script to read the Excel file and extrapolate the parameter names (headers) and related information; 2) Run the Bird Nesting Aid procedure, to allow the selection and modification of the size of the BIM element according to the values provided

by the first part; 3) Run the Visual Output, to display the 'id' and the 'name' of the target species on a more user-friendly interface (Fig. 7b). The 3D BIM element, thanks to the Dynamo reader, can be adapted and modified in real-time concerning the size of the selected target species.

**Concluding remarks** | Ongoing digital transformation is pushing designers towards approaches that make use of emerging technologies, tools for spatial and ecological analysis, and increasing multidisciplinary collaboration with ecologists and environmental engineers. As stated by Dorney (1973), it is therefore essential for ecologists to understand the philosophy, methodology and objectives of the compositional and engineering disciplines, so that they can synthesise information about the structure and function of ecosystems into a form that can be used and understood by engineers, architects, landscape architects and planners.

The results of the questionnaire highlighted that, although respondents could read and contextualize ecological maps and showed a good awareness of methods and approaches that support natural ecosystems, their willingness to adopt them seems to be discouraged by a lack of norms and legislative measures and, consequently, inadequate investment. At the same time, the results confirm one of the innovative insights behind the 'design for nature' approach introduced by Catalano et alii (2021), namely applying ecological simulation tools such as spatial distribution models of habitats and species in architecture, design and urban planning, based on certain microclimatic and morphological conditions. It follows that for a paradigm shift towards inclusive and biodiverse design, decision-makers should encourage and motivate designers and planners to collaborate with naturalists and environmental engineers so that ecological data can be interpreted from an architectural perspective.

Furthermore, as Zanni, Soetanto and Ruikar (2017) stated, to take a step towards sustainable development, supported by new technologies (software, hardware, and networks), it is necessary to employ a structured, systematic, and centralized approach, which creates a Common Data Environment (CDE), a virtual space to collect, manage, and share information, and coordinate actions. In this regard, among the application issues to be solved, these should not only include communication difficulties due to the different objectives and purposes of the professional figures involved, but also the interoperability between commonly used software, especially between GIS and BIM environments. This issue is currently being addressed by the cooperation between Autodesk and ESRI with their new ArcGIS GeoBIM soft-

ware. Together, they have developed an innovative and easy-to-use web platform, where BIM models can be processed and collaborated on by interacting with data from multiple systems in a spatially geo-referenced context.

The case study of the BNA-BIM model, presented in this contribution, was designed as an agile and interactive tool to visualize and integrate construction solutions sensitive to wildlife in a BIM environment. The Dynamo script could be further developed to improve the interaction between the BIM element and environmental parameters, e.g., to automate the positioning of the BNA-BIM element at the most suitable elevation and based on ecological maps and other environmental parameters, such as microclimate simulation. In the presence of a geo-referenced BIM-3D model, the BNA instance could be positioned with optimal exposure and height based on distance from suitable land uses and vegetation types.

Taking this case study as a starting point, a BIM library of integrated 3D elements for facades, developed according to the needs and requirements of different target species such as reptiles, insects and 'vegetation systems' could be created, thus allowing the designers to take into account the environmental and biological context from the early stages of the project. As highlighted by von Richthofen et alii (2018), parametric modelling can pave towards explicit, logical and replicable design approaches, making their processes transparent and ensuring their applicability in other contexts.

## Acknowledgements

The article was written jointly by the two authors and coordinated and supervised by C. Catalano. A. Balducci prepared the questionnaire, the Revit model, and the Dynamo visual script elaborated the ecological maps and analysed the data. Thanks to: M. Meslec (IFM-ZHAW), P. Ochsner (IUNR-ZHAW) and S. Pasta (CNR-IBBR) for

the valuable suggestions; J. R. Parry (ZHAW) for the revision and improvement of the version in English language; G. Kunz, T. Bischof and N. Baumann for providing their expert opinions used to determine the Habitat Suitability Index; A. Scott, Associazione Apicoltori Mantovani, ChartierDalix Architects, D. Gedge, F. Hofstra, Filcris Ltd, Husos Architects, Kragh and Berglund Architects, Lars Gitz Architects, M. Joachim (Terreform ONE),

M. Nardella and O. Tudose (Fabrikaat), M. Stokes and R. M. Chitrakar, P. Maupetit, Sanzpont Architectura, Sasaki, Stefano-Boeri-Architetti, T. Lamphier, for the images in Fig. 1 and Tab. 4; Animal Aided Design Studio, TerrOiko and the Grünraumentwicklung and Geoinformatik research groups at Zurich University of Applied Science (ZHAW) for the images in Tab. 5. The present work was developed within the Framework of the DeMo Project –

Design and Modelling of Urban Ecosystems (01/03/2020-31/12/2021) coordinated by C. Catalano and funded by the ZHAW (Sustainable Campus Living Lab – Campus@LSFM). More information on the webpage: [zhaw.ch/en/research/research-database/project-detailview/projektid/3536/](http://zhaw.ch/en/research/research-database/project-detailview/projektid/3536/) [Accessed 24 March 2022].

## Notes

1) The survey was carried out in 2019 by L. Venetz, student of the Bachelor of Natural Resource Sciences, and T. Kimmich, head gardener and responsible for maintenance, planning and development of the gardens at the Grüental Campus of ZHAW.

## References

- Apfelbeck, B., Jakoby, C., Hanusch, M., Steffani, E. B., Hauck, T. E. and Weisser, W. W. (2019), “A Conceptual Framework for Choosing Target Species for Wildlife-Inclusive Urban Design”, in *Sustainability*, vol. 11, n. 24, 6972, pp. 1-20. [Online] Available at: [doi.org/10.3390/su11246972](https://doi.org/10.3390/su11246972) [Accessed 24 March 2022].
- Apfelbeck, B., Snep, R. P. H., Hauck, T. E., Ferguson, J., Holy, M., Jakoby, C., MacIvor, S. J., Schär, L., Taylor, M. and Weisser, W. W. (2020), “Designing wildlife-inclusive cities that support human-animal co-existence”, in *Landscape and Urban Planning*, vol. 200, 103817, pp. 1-11. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103817](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103817) [Accessed 24 March 2022].
- BirdLife Svizzera (2019), *Nidi Artificiali per gli animali – Un aiuto per la fauna dei diversi ambienti*. [Online] Available at: [birdlife.ch/sites/default/files/documents/Depliant\\_Nidi\\_web.pdf](http://birdlife.ch/sites/default/files/documents/Depliant_Nidi_web.pdf) [Accessed 24 March 2022].
- Birkeland, J. (2009), “Communicating ecologically positive development”, in Wood, P. and Smitheram, J. (eds), *Proceedings of the 5th International Conference of the Association of Architecture Schools in Australasia (AASA)*, The Association of Architecture Schools in Australasia, New Zealand, pp. 1-10. [Online] Available at: [eprints.qut.edu.au/28467/](http://eprints.qut.edu.au/28467/) [Accessed 24 March 2022].
- Birkeland, J. (2008), *Positive Development – From Vicious Circles to Virtuous Cycles through Built Environment Design*, Routledge, London. [Online] Available at: [doi.org/10.4324/9781849772235](https://doi.org/10.4324/9781849772235) [Accessed 24 March 2022].
- Bolund, P. and Hunhammar, S. (1999), “Ecosystem services in urban areas”, in *Ecological Economics*, vol. 29, issue 2, pp. 293-301. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00013-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00013-0) [Accessed 24 March 2022].
- Brack, F., Hagenbuch, R., Wütschert, D., Sadlo, F. and Huber, J. (n.d.), *Qualitätsindex und Qualitätsmonitoring für Städtische Freiräume – Forschungsbericht*. [Online] Available at: [vssg.ch/public/upload/assets/2996/200830\\_Q-Index\\_Forschungsbericht\\_ohneAnhang.pdf?fp=1](http://vssg.ch/public/upload/assets/2996/200830_Q-Index_Forschungsbericht_ohneAnhang.pdf?fp=1) [Accessed 24 March 2022].
- Catalano, C., Meslec, M., Boileau, J., Guarino, R., Aurich, I., Baumann, N., Chartier, F., Dalix, P., Deramond, S., Laube, P., Lee, A. K. K., Ochsner, P., Pasturel, M., Soret, M. and Moulherat, S. (2021), “Smart Sustainable Cities of the New Millennium – Towards Design for Nature”, in *Circular Economy and Sustainability*, vol. 1, issue 3, pp. 1053-1086. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/s43615-021-00100-6](https://doi.org/10.1007/s43615-021-00100-6) [Accessed 24 March 2022].
- Chan, L., Elmquist, T., Holman, N., Mader, A. and Calcaterra, E. (2014), *User’s Manual on the Singapore Index on Cities’ Biodiversity (also known as the City Biodiversity Index)*, National Parks Board, Singapore. [Online] Available at: [cbd.int/authorities/doc/Singapore-Index-User-Manual-20140730-en.pdf](http://cbd.int/authorities/doc/Singapore-Index-User-Manual-20140730-en.pdf) [Accessed 24 March 2022].
- DGNB System (2020), *New Construction, Buildings Criteria Set – Version 2020 international*. [Online] Available at: [static.dgnb.de/fileadmin/dgnb-system/downloads/criteria/DGNB-Criteria-Set-New-Construction-Buildings-Version-2020-International.pdf](http://static.dgnb.de/fileadmin/dgnb-system/downloads/criteria/DGNB-Criteria-Set-New-Construction-Buildings-Version-2020-International.pdf) [Accessed 24 March 2022].
- Dorney, R. S. (1973), “Role of ecologists as consultants in urban planning and design”, in *Human Ecology*, vol. 1, issue 3, pp. 183-200. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/BF01531180](https://doi.org/10.1007/BF01531180) [Accessed 24 March 2022].
- European Commission (2015), *Towards an EU Research and Innovation Policy Agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities – Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on ‘Nature-based Solutions and Re Naturing Cities’ (Full Version)*, Publications Office of the European Union, Luxembourg. [Online] Available at: [data.europa.eu/doi/10.2777/765301](http://data.europa.eu/doi/10.2777/765301) [Accessed 24 March 2022].
- Federal Statistical Office (2014), “Swiss land use statistics – Standard Nomenclature NOAS04 – Basic categories and aggregations | Publication”, in *Federal Statistical Office*, 05/09/2014. [Online] Available at: [bfs.admin.ch/bfs/en/home/statistics/catalogues-databases/publications.assetdetail.171190.html](http://bfs.admin.ch/bfs/en/home/statistics/catalogues-databases/publications.assetdetail.171190.html) [Accessed 24 March 2022].
- Garrard, G. E. and Bekessy, S. A. (2015), *Biodiversity Sensitive Urban Design – Creating urban environments that are good for people and good for nature*. [Online] Available at: [ggarrardresearch.files.wordpress.com/2012/11/bstud-final\\_reduced-size2.pdf](http://ggarrardresearch.files.wordpress.com/2012/11/bstud-final_reduced-size2.pdf) [Accessed 24 March 2022].
- Garrard, G. E., Williams, N. S. G., Mata, L., Thomas, J. and Bekessy, S. A. (2018), “Biodiversity Sensitive Urban Design”, in *Conservation Letters*, vol. 11, issue 2, e12411, pp. 1-10. [Online] Available at: [doi.org/10.1111/conl.12411](https://doi.org/10.1111/conl.12411) [Accessed 24 March 2022].
- Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X. and Briggs, J. M. (2008), “Global Change and the Ecology of Cities”, in *Science*, vol. 319, issue 5864, pp. 756-760. [Online] Available at: [doi.org/10.1126/science.1150195](https://doi.org/10.1126/science.1150195) [Accessed 24 March 2022].
- Gunnell, K., Murphy, B. and Williams, C. (2019), *Designing for Biodiversity – A Technical Guide for New and Existing Buildings*, RIBA Publishing, Boston.
- Hassan, A. M. and Lee, H. (2015), “The paradox of the sustainable city – Definitions and examples”, in *Environment, Development and Sustainability*, vol. 17, issue 6, pp. 1267-1285. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/s10668-014-9604-z](https://doi.org/10.1007/s10668-014-9604-z) [Accessed 24 March 2022].
- Ignatieva, M. (2010), “Design and Future of Urban Biodiversity”, in Müller, N., Werner, P. and Kelcey, J. G. (eds), *Urban Biodiversity and Design*, Wiley-Blackwell, Oxford (UK), pp. 118-144. [Online] Available at: [doi.org/10.1002/9781444318654.ch6](https://doi.org/10.1002/9781444318654.ch6) [Accessed 24 March 2022].
- Li, X., Li, D., Li, Y., Ma, Z. and Zhai, T. (2002), “Habitat evaluation for crested ibis – A GIS-based approach – Habitat evaluation for crested ibis”, in *Ecological Research*, vol. 17, issue 5, pp. 565-573. [Online] Available at: [doi.org/10.1046/j.1440-1703.2002.00515.x](https://doi.org/10.1046/j.1440-1703.2002.00515.x) [Accessed 24 March 2022].
- Liang, C. and Li, X. (2012), “The Ecological Sensitivity Evaluation in Yellow River Delta National Natural Reserve”, in *CLEAN – Soil, Air, Water*, vol. 40, issue 10, pp. 1197-1207. [Online] Available at: [doi.org/10.1002/clen.201200051](https://doi.org/10.1002/clen.201200051) [Accessed 24 March 2022].
- Ludwig, F., Hensel, M. and Wolfgang, W. (2021), “Ecolopes – Gebäudehüllen als biodiverse Lebensräume”, in *Bauen von morgen – Zukunftsthemen und Szenarien*, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BB-SR), Bonn, pp. 84-89. [Online] Available at: [researchgate.net/profile/Ferdinand-Ludwig/publication/358396408\\_ECOLOPES\\_-\\_Gebäudehüllen\\_als\\_biodiverse\\_Lebensräume/links/61fffb14b44cbe4227286feb/ECOLOPES-Gebäudehüllen-als-biodiverse-Lebensräume.pdf](https://researchgate.net/profile/Ferdinand-Ludwig/publication/358396408_ECOLOPES_-_Gebäudehüllen_als_biodiverse_Lebensräume/links/61fffb14b44cbe4227286feb/ECOLOPES-Gebäudehüllen-als-biodiverse-Lebensräume.pdf) [Accessed 24 March 2022].
- Miller, A. Z., Sanmartín, P., Pereira-Pardo, L., Dionísio, A., Saiz-Jimenez, C., Macedo, M. F. and Prieto, B. (2012), “Bioreceptivity of building stones – A review”, in *Science of The Total Environment*, vol. 426, pp. 1-12. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.03.026](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.03.026) [Accessed 24 March 2022].
- Moretti, N., Ellul, C., Re Cecconi, F., Papapesios, N. and Dejacco, M. C. (2021), “GeoBIM for built environment condition assessment supporting asset management decision making”, in *Automation in Construction*, vol. 130, 103859, pp. 1-14. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103859](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103859) [Accessed 24 March 2022].
- Moura, A. C. and Campagna, M. (2018), “Co-design – Digital tools for knowledge-building and decision-making in planning and design | Co-Progetto – Strumenti digitali per la costruzione della conoscenza e il supporto alle decisioni nella progettazione collaborativa”, in *Disegnarecon*, vol. 11, n. 20, pp. ED.1-ED.3. [Online] Available at: [disegnarecon.univaq.it/ojs/index.php/disegnarecon/article/viewFile/388/288](http://disegnarecon.univaq.it/ojs/index.php/disegnarecon/article/viewFile/388/288) [Accessed 24 March 2022].
- Opoku, A. (2019), “Biodiversity and the built environment – Implications for the Sustainable Development Goals (SDGs)”, in *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 141, pp. 1-7. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.011](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.011) [Accessed 24 March 2022].
- Ross, M. R. V., Bernhardt, E. S., Doyle, M. W. and Heferman, J. B. (2015), “Designer Ecosystems – Incorporating Design Approaches into Applied Ecology”, in *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 40, issue 1, pp. 419-443. [Online] Available at: [doi.org/10.1146/annurev-environ-121012-100957](https://doi.org/10.1146/annurev-environ-121012-100957) [Accessed 24 March 2022].
- Stokes, M. and Chitrakar, R. M. (2012), “Designing ‘other’ citizens into the city – Investigating perceptions of architectural opportunities for wildlife habitat in the Brisbane CBD”, in *QUThinking Conference – Research and Ideas for the Built Environment – Brisbane, 09 November 2012*. [Online] Available at: [eprints.qut.edu.au/85337/](http://eprints.qut.edu.au/85337/) [Accessed 24 March 2022].
- Store, R. and Jokimäki, J. (2003), “A GIS-based multi-scale approach to habitat suitability modeling”, in *Ecological Modelling*, vol. 169, issue 1, pp. 1-15. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/S0304-3800\(03\)00203-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(03)00203-5) [Accessed 24 March 2022].
- von Richthofen, A., Knecht, K., Miao, Y. and König, R. (2018), “The ‘Urban Elements’ method for teaching parametric urban design to professionals”, in *Frontiers of Architectural Research*, vol. 7, n. 4, pp. 573-587. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/j.foar.2018.08.002](https://doi.org/10.1016/j.foar.2018.08.002) [Accessed 24 March 2022].
- Weisser, W. W. and Hauck, T. E. (2017), “Animal-Aided Design – Using a species’ life-cycle to improve open space planning and conservation in cities and elsewhere”, in *BioRxiv | The preprint server for biology*, pp. 1-14. [Online] Available at: [doi.org/10.1101/150359](https://doi.org/10.1101/150359) [Accessed 24 March 2022].
- Zanni, M. A., Soetanto, R. and Ruikar, K. (2017), “Towards a BIM-enabled sustainable building design process – Roles, responsibilities, and requirements”, in *Architectural Engineering and Design Management*, vol. 13, issue 2, pp. 101-129. [Online] Available at: [doi.org/10.1080/17452007.2016.1213153](https://doi.org/10.1080/17452007.2016.1213153) [Accessed 24 March 2022].

## TETTI VERDI SUBTROPICALI A BASSA MANUTENZIONE

Verde spontaneo e profondità del substrato

## LOW-MAINTENANCE SUBTROPICAL GREEN ROOFS

Spontaneous vegetation and substrate depth

Brenda Chaves Coelho Leite, Lucas Gobatti,  
Isabela Gamba Huttenlocher

### ABSTRACT

Le piante spontanee e ruderali possono essere la chiave per un'infrastruttura Verde urbana a basso costo, a bassa manutenzione e in grado di adattarsi al contesto climatico locale. Oltre a fornire una vasta gamma di Servizi Ecosistemici, tali specie sono in grado di sopravvivere in ambienti alterati dall'uomo e di resistere a condizioni a loro avverse, come la scarsità d'acqua e il substrato poco profondo. Il paper mira a individuare sistematicamente gli effetti esercitati dalla profondità del substrato durante i primi mesi di crescita della vegetazione utilizzando il metodo Point-Intercept in tetti verdi estensivi a bassa manutenzione. Rispetto alle ricerche precedenti che si sono concentrate sulla crescita in climi temperati, la sperimentazione in un clima subtropicale umido può contribuire a colmare una grande lacuna, valutando il potenziale a lungo termine di coperture con insediamenti di specie spontanee eterogenee per migliorare l'ecologia urbana e la sua rigenerazione naturale.

Spontaneous and ruderal plants can be the key to a low-cost, low-maintenance urban Green Infrastructure that can adapt to the local climate context. In addition to providing a wide range of Ecosystem Services, such species can survive in environments altered by humans and withstand conditions adverse to them, such as water scarcity and shallow substrate. The paper aims to systematically identify the effects exerted by substrate depth during the first months of vegetation growth using the Point-Intercept method in low-maintenance extensive green roofs. Contrary to previous research focusing on vegetation growth in temperate climates, experimentation in a humid subtropical climate can help to fill a gap by assessing the long-term potential of roofs with heterogeneous spontaneous species establishment to improve urban ecology and its natural regeneration.

### KEYWORDS

tetti verdi, vegetazione spontanea, biodiversità, colonizzazione, soluzioni basate sulla natura

green roofs, spontaneous vegetation, biodiversity, colonization, nature-based solutions

**Brenda Chaves Coelho Leite**, Civil Engineer and PhD, is an Assistant Professor at the Civil Construction Engineering Department of the Polytechnic School, University of São Paulo (Brazil). She has experience in thermal comfort and air quality in buildings, the energy efficiency of buildings, green roofs, Nature-based Solutions, building performance simulation and building energy efficiency. E-mail: bcleite@usp.br

**Lucas Gobatti** is an MSc Student at the Professional Master's Program in Construction Innovation of the Civil Construction Engineering Department, Polytechnic School, University of São Paulo (Brazil). He has experience in the construction of Nature-based Solutions such as green roofs/walls and stormwater planters. E-mail: lucas.gobatti@usp.br

**Isabela Gamba Huttenlocher** is an Environmental Engineering Undergraduate Student at the Hydraulics and Environmental Engineering Department of the Polytechnic School, University of São Paulo (Brazil). She has experience in collecting and analysing laboratory data in green roof models towards vegetation dynamics. E-mail: isagamba@usp.br

L'azione antropica ha danneggiato drasticamente i delicati cicli naturali e gli habitat in diversi contesti locali: le città densamente occupate, come sottolineano Vesuviano e Stovin (2013), possono determinare criticità nella gestione del territorio, rendendo difficile l'impiego di soluzioni basate sulla natura (NbS) come la bioritenzione, la piantumazione di alberi stradali e i parchi pubblici. La vegetazione, come sottolineano ancora Vesuviano e Stovin (2013), è in grado di contenere tali criticità in quanto può essere collocata sui tetti, rendendo così possibili diversi Servizi Ecosistemici (Oberndorfer et alii, 2007) definiti dalla International Union for Conservation of Nature come «[...] the benefits people obtain from ecosystems» (MEA, 2005, p. 40) secondo un approccio innovativo per determinare l'interconnessione uomo-natura. Questo approccio è stato successivamente sintetizzato nel termine di NbS, definito dalla European Commission (2015, p. 5) come «[...] solutions that are inspired and supported by nature».

In quest'ottica, trarre ispirazione dalla natura e sostenere i suoi processi richiede un'osservazione sistemica della natura stessa con l'obiettivo di interagire con i fenomeni naturali. È quindi necessario definire chiaramente il significato di processi naturali e artificiali e Lacerda et alii (2013) lo fanno in maniera semplice; artificiale e naturale sono semplicemente 'orientamenti diversi': gli elementi artificiali sono prodotti (o causati) dall'uomo con una funzione specifica, mentre quelli naturali sono una conseguenza della natura; l'elemento naturale sarà in grado di vivere a lungo in condizioni favorevoli, mentre quello artificiale avrà bisogno di una notevole manutenzione per poter perdurare nel tempo.

Lo stesso ragionamento vale per la vegetazione estensiva sui tetti, spesso erba, talvolta specie esotiche o spontanee, che richiedono interventi periodici per contenerne la proliferazione. Secondo Lundholm (2015) è necessario quindi comprendere le caratteristiche di queste specie spontanee, per sfruttarne al meglio i benefici sull'ecosistema urbano. La crescita spontanea delle colture vegetali messe a dimora dall'uomo sui tetti può essere dunque oggetto di studio, da un lato per contenere i costi di manutenzione, giardinaggio e irrigazione, dall'altro per incrementare Servizi Ecosistemici come la biodiversità e gli habitat per le specie, ma anche per aumentarne il valore estetico e per migliorare la gestione delle acque piovane (Dunnett, 2015).

Sulla base di tali premesse lo studio che si riporta mira a caratterizzare in modo sistematico gli effetti esercitati dalla profondità del substrato durante i primi mesi di crescita della vegetazione in modelli di tetti verdi a bassa manutenzione. Si tratta di un obiettivo importante, poiché le prime fasi di crescita sono cruciali per comprendere meglio la distribuzione della vegetazione e la sua resilienza (Dunnett, 2015). Dopo una panoramica generale sui tetti verdi, sugli aspetti più rilevanti legati al contesto della vegetazione spontanea e su alcune caratteristiche peculiari dei climi tropicali e subtropicali, si descrivono i materiali e la metodologia, la sperimentazione, il metodo Point-Intercept, i risultati, una breve discussione sui risultati e le conclusioni.

**Tetti verdi** | I tetti verdi non sono certo una soluzione architettonica nuova; Osmundson (1999) li

definisce come una qualsiasi vegetazione o giardino separato dal suolo attraverso un artefatto; ne esistono diverse tipologie, normalmente classificate in base alla profondità del substrato (dal più ridotto al più profondo) ma anche rispetto al fatto che possono essere estensivi, semi intensivi e intensivi. Secondo Dunnett et alii (2008), i tipi intensivi possono non essere particolarmente accattivanti in quanto la domanda sociale è indirizzata maggiormente verso tetti leggeri, ecologicamente 'equilibrati' ed esteticamente piacevoli per permettere a una più ampia gamma di persone di utilizzarli efficacemente. La successione tipo degli strati di una copertura verde è riportata in Figura 1 anche se ogni strato può avere caratteristiche particolari a seconda della configurazione della copertura e del tipo di clima. Tuttavia, un elemento rilevante è la composizione del suo substrato, che di solito comprende una gamma specifica di materiali. Ampim et alii (2010) forniscono una rassegna dei materiali per il substrato e delle loro caratteristiche, suddividendoli in componenti naturali e minerali, componenti minerali artificiali o modificati, materiali organici, materiali riciclati o di scarto e a base di schiume plastiche; anche la pacciamatura è un componente importante, in quanto può aiutare il substrato a disperdere meno acqua per evaporazione (Cianciaruso et alii, 2006).

**Letteratura scientifica sulla vegetazione spontanea** | Lundholm (2015) rileva che sebbene i tetti verdi siano strutture artificiali, le dinamiche di sviluppo del tetto sono una diretta conseguenza sia della crescita spontanea della vegetazione, sia delle attività di manutenzione fatte dall'uomo; così, individuati i livelli di 'organizzazione', dall'autopoiesi e dalle dinamiche spontanee ai sistemi ingegnerizzati, l'autore propone nuovi approcci per la progettazione dei sistemi di inverdimento delle coperture che privilegiano l'autoregolazione della vegetazione rispetto a quelli che prevedono un'elevata manutenzione. Inoltre, Lundholm considera rilevante la scelta delle piante poiché la vegetazione in copertura può avere un grande impatto sulle prestazioni del sistema, ad esempio in termini di ritenzione idrica e di inerzia termica (Dunnett et alii, 2008), pur non mancando di sottolineare i pericoli di affidarsi solo a una colonizzazione spontanea se l'obiettivo principale è legato alla biodiversità, che può essere messa a rischio dalla maggiore adattabilità e aggressività di alcune specie.

Tra le ricerche pubblicate è da segnalare quella di Dunnett (2015) il quale fa luce non solo sulle fasi iniziali della colonizzazione, ma anche su quelle successive, descrivendo i tetti verdi come ecosistemi dinamici e sottolineando la necessità che i sistemi siano autoregolanti, al fine di ottenere una risposta a lungo termine alle alterazioni ambientali. Nagase, Dunnett e Choi (2013) mostrano invece come una eccessiva riduzione della profondità del substrato possa anche portare a una riduzione della colonizzazione delle piante. In una ricerca simile, Catalano et alii (2016) hanno analizzato le coperture con vegetazione nelle quali non è stata fatta manutenzione per circa 30 anni, mostrando come la colonizzazione spontanea sia un fenomeno importante e benefico in quanto consente di consolidare la presenza di una selezione botanica tra le comunità vegetali locali. Catalano et alii (2018) hanno anche analizzato regolamenti e linee guida per le coperture verdi in Germania, Svizzera e Ita-

lia, non riuscendo a trovarvi traccia di riferimenti alle ecoregioni e alle caratteristiche delle piante; la loro ricerca ha evidenziato infine la necessità di affrontare, nella progettazione delle coperture verdi, gli aspetti ecologici che intervengono nella compensazione ambientale. Alla luce dei suddetti studi appare evidente che l'analisi sulle dinamiche di crescita delle specie spontanee debba essere condotta in diversi climi, poiché le condizioni ambientali locali sono rilevanti.

Le ricerche pubblicate sul tema si sono concentrate prevalentemente su zone climatiche temperate (Grullón-Penkova, Zimmerman and González, 2020) mentre i pochi studi recenti condotti in climi tropicali e subtropicali hanno evidenziato la necessità di approfondire la conoscenza delle dinamiche di crescita della vegetazione in base alle condizioni dello specifico contesto. Sebbene dai dati incrociati della letteratura ci si aspetti che una minore profondità del substrato ostacoli la proliferazione delle specie messe a dimora fino a una certa profondità (soglia in cui la profondità non è più rilevante) e che le specie spontanee capaci di affrontare meglio la siccità e la minore disponibilità d'acqua crescano più facilmente delle specie messe a dimora in un substrato poco profondo, si ritiene necessaria una indagine approfondita per verificare se anche un substrato poco profondo possa ospitare in modo soddisfacente una varietà di specie e diventare per queste un habitat adeguato. La verifica può essere rilevante per individuare selezioni botaniche per la colonizzazione dei tetti verdi con substrato poco profondo, incentivando così la diffusione di 'tetti leggeri' (Silva, Flores-Colen and Antunes, 2017).

**Obiettivi, sperimentazione, materiali e metodologia** | La ricerca sperimentale che si illustra mira a caratterizzare sistematicamente i primi mesi di crescita della vegetazione nelle coperture, perché ritenuti cruciali per meglio comprendere le dinamiche di colonizzazione e la sua resilienza (Dunnett, 2015); il contributo si caratterizza per originalità in quanto riporta una sperimentazione in un contesto subtropicale umido per il quale mancano dati esaustivi e scientificamente robusti per definire sistematicamente le modalità di crescita di specie spontanee ai fini di un loro successivo più ampio utilizzo.

Per realizzare gli obiettivi della ricerca, la sperimentazione è stata condotta a San Paolo (Brasile) in un contesto climatico di transizione tra le regioni tropicali e subtropicali del Paese, come si evince nella classificazione del clima di Köppen Geiger (Alvares et alii, 2014): su una scala più ampia, Martinelli (2010) classifica la Città di San Paolo come Cwa (Zona Subtropicale Umida, con inverno secco ed estate calda) e Aw (Zona Tropicale, con inverno secco). Sono stati effettuati dei test attraverso i quali è stata messa a punto una metodologia per il campionamento sistematico e la caratterizzazione delle dinamiche di sviluppo della vegetazione. La sperimentazione è stata eseguita su quattro banchi di prova all'aperto, che simulano una copertura a verde, ciascuno della dimensione di 1,40 x 1,30 metri con diverse profondità di substrato (6, 10, 15, 20 cm) ma con gli stessi elementi strutturali. La distribuzione e la profondità del substrato sono mostrate in Figura 2. Sebbene dai banchi di prova si possa rilevare una varietà di parametri, tra cui le prestazioni idriche e

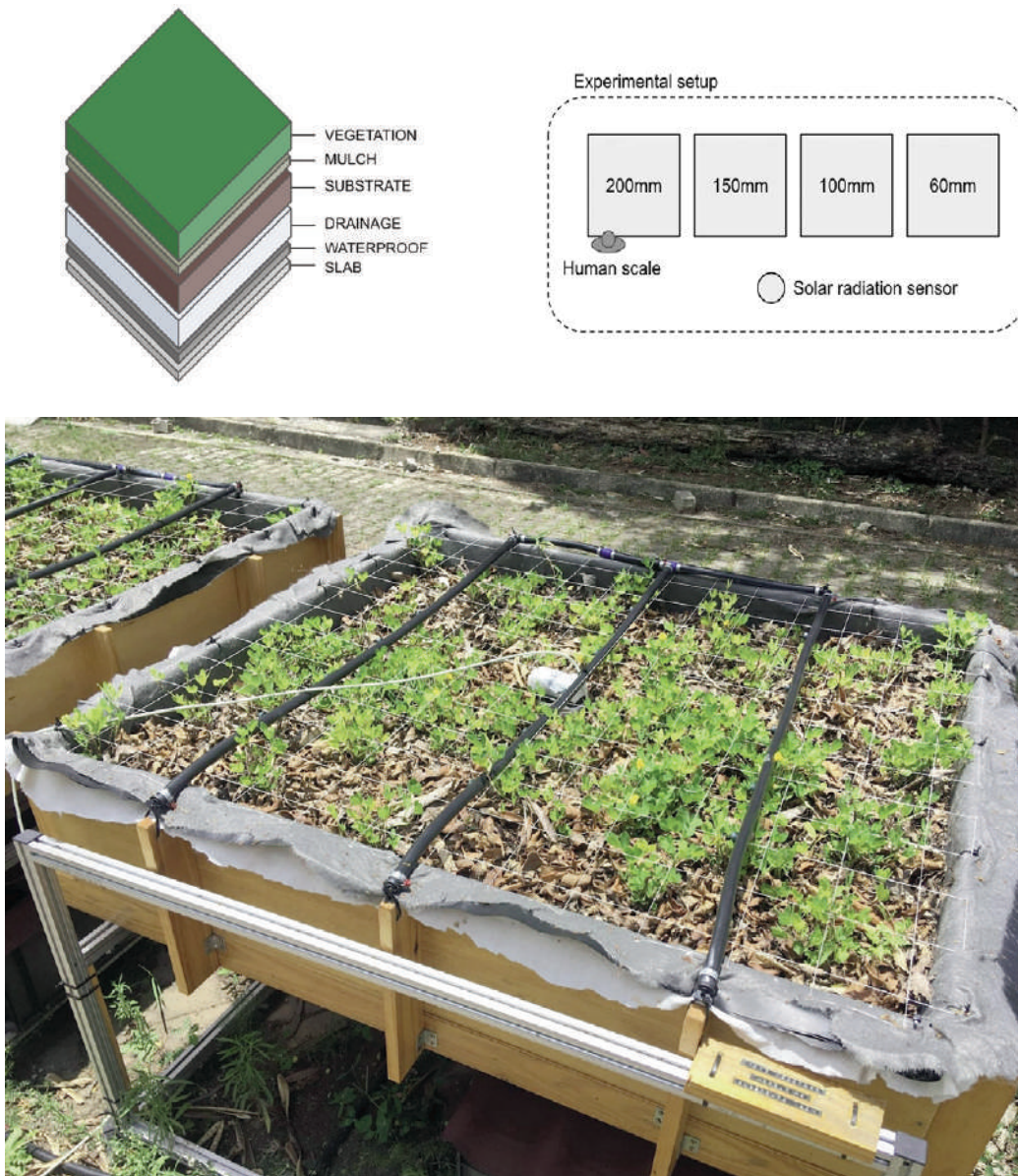


Fig. 1 | Vegetated roofs have typical layers and slab structure support (credit: the Authors).

Fig. 2 | Testbeds outdoor experimental setup, substrate depths and solar radiation sensor positioning (credit: the Authors).

Fig. 3 | Final testbed with the grid for point-intercept method (credit: the Authors).

termiche, la sperimentazione si concentra solo sulle dinamiche dello sviluppo della vegetazione.

I banchi di prova sono stati costruiti utilizzando un telaio di supporto in profili quadrati in alluminio di 30 mm dentro cui è stata posta una cassa in legno di pino verniciato (Fig. 3). A partire dal basso, gli strati interni sono costituiti da una membrana HDPE (polietilene ad alta densità) a bassa permeabilità come strato impermeabilizzante dello spessore di 0,5 mm, da una membrana di geodrenaggio e da un geotessile di 100g/mq; successivamente è stato sversato prima il substrato, costituito da una combinazione di diversi materiali (Tab. 1) e poi la pacciamatura, costituita da foglie secche decomposte provenienti dagli alberi presenti nei pressi del laboratorio, una pratica che può essere utile per la propagazione di semi; in ultimo sono state messe a dimora 33 piantine di *'Arachis repens'* per metro quadrato, distribuite uniformemente. I banchi di prova, che hanno una pendenza del 3%, sono attrezzati con un sensore di radiazione solare e un sistema di irrigazione Rain Bird, per mantenere il terreno con un alto tas-

so di umidità, che alle 6 del mattino tramite 15 irrigatori a goccia innaffia in modo uniforme la terra.

Per valutare le dinamiche di sviluppo delle specie spontanee, si è utilizzato un filo di polietilene disposto sopra i banchi di prova con una maglia ortogonale e interassi di 100 mm; a ogni nodo della griglia è predisposta una verticale come riferimento per la crescita della vegetazione, secondo il metodo Point-intercept (Fig. 4) descritto da Mueller-Dombois e Ellenberg (2002) e da Caratti (2006). I nodi costituiscono un riferimento costante che consente di verificare lo sviluppo della *'Arachis repens'* così come di qualsiasi altra pianta spontanea. Le piante che nel tempo non si avvicinano alle proiezioni dei nodi vengono escluse dai risultati della sperimentazione. Per migliorare la precisione del modello, si è considerata come 'intersezione completa' quando le piante intersecano idealmente il punto della griglia e come 'intersezione parziale' quando le piante sono molto vicine al punto della griglia. La raccolta dei dati è iniziata un paio di settimane dopo la prima semina; durante i primi mesi, i dati di crescita sono stati raccolti set-

timanalmente e negli ultimi mesi ogni trenta giorni. L'indice di copertura delle piante è stimato approssimativamente dividendo il numero totale di nodi della griglia per il numero totale di nodi della griglia che si intersecano ogni giorno durante la raccolta dei dati di laboratorio.

**Risultati** | Lo sviluppo della vegetazione è stato restituito graficamente nelle Figure 5 e 6, dove sono rappresentati il numero delle intersezioni durante tutta la sperimentazione. È possibile notare come la copertura complessiva della vegetazione (che comprende tanto le specie messe a dimora quanto quelle spontanee) è progressivamente aumentata nel tempo. In particolare, il banco di prova con il substrato con una profondità di 10 cm ha avuto una copertura vegetale maggiore durante tutto l'esperimento, dato questo coerente con le conclusioni di Dunnett et alii (2008). Per quanto riguarda la vegetazione spontanea, il grafico di Figura 5 mostra che il numero delle intercettazioni delle spontanee (asse Y primario con linee continue) è maggiore nel substrato meno profondo durante i primi 40-50 giorni. Questo fenomeno può essersi verificato per la presenza di spazi tra le piante messe a dimora che nei substrati meno profondi erano rimasti liberi più a lungo ma con il passare del tempo la maggiore profondità del substrato è diventata un habitat più favorevole per la vegetazione spontanea.

Il grafico di Figura 6 mostra invece la radiazione solare sui banchi di prova misurata per alcuni giorni dell'esperimento, poiché radiazione e copertura vegetale hanno una stretta correlazione. I grafici mostrano una chiara diminuzione della percentuale di copertura vegetale al 37esimo giorno, quando si è registrata una radiazione solare più alta rispetto alla media, dato compatibile con la nota caratteristica della *'Arachis repens'* che può muovere le proprie foglie per regolarne l'esposizione alle radiazioni in relazione alle condizioni ambientali. I risultati presentano un margine di affidabilità del 95% rispetto alle misurazioni standard.

I risultati qualitativi della sperimentazione, relativi alle specie che hanno colonizzato spontaneamente i tetti e alla *'Arachis repens'* messa a dimora dagli autori, sono riportati in Tabella 2 e di seguito riassunti: le famiglie botaniche con la maggior varietà di specie sono state le *'Asteraceae'* e le *'Fabaceae'* mentre quelle con il maggior numero di specie sono state le *'Commelinaceae'* e le *'Poaceae'*. I dati sperimentali completi sono disponibili su Mendeley Data repository (Gobatti, Leite and Huttenlocher, 2022). In generale, i risultati indicano che: il substrato meno profondo, che trattiene meno acqua, inizialmente ostacola lo sviluppo delle specie spontanee, ma poi fornisce comunque condizioni di sviluppo sufficienti; una varietà di esemplari spontanei riesce a crescere velocemente (Figg. 7-14); le prime specie spontanee riescono a colonizzare rapidamente i banchi di prova (Fig. 15).

**Discussione dei risultati** | I tetti con vegetazione costituiscono un ecosistema dinamico che può cambiare significativamente a seconda delle condizioni ambientali del contesto (Dunnett et alii, 2008). Se sulla sperimentazione può non aver influito l'assenza di precipitazioni piovose perché compensata da un sistema di irrigazione artificiale, la radiazione solare ha certamente contribuito a deter-

minare gli esiti poiché la 'Arachis repens' ha un complesso sistema fogliare (Figg. 16, 17) che si riduce in estensione nei giorni di maggiore radiazione solare.

La diffusione della vegetazione spontanea è stata condizionata dalla copertura vegetale, soprattutto a partire dalla coltura iniziale di 'Arachis repens'. Contrariamente alle aspettative (più piante messe a dimora rispetto alle spontanee), il ritmo di crescita delle spontanee è aumentato seguendo la crescita della copertura vegetale totale (Fig. 18). Questo fenomeno può essere spiegato analizzando i primi mesi di crescita, durante i quali ci sono ancora molti vuoti nella copertura vegetale che vengono occupati dalle spontanee. È possibile che questa correlazione cambi quando nel tempo si consolida la popolazione vegetale di un tetto. Nonostante ciò, è interessante osservare che all'aumentare della copertura totale delle piante, la percentuale di spontanee aumenta quanto più è profondo il substrato.

Le spontanee possono nascere in seguito a dispersione dei semi da parte del vento o propagazione da parte di animali (Ampim et alii, 2010). I dati mostrano come nelle ultime settimane le varietà hanno smesso di crescere, anche se la quantità di spontanee ha continuato ad aumentare; questo fenomeno indica che alcune specie sono favorite e quindi si riduce la diversità relativa del numero totale di piante. Le specie 'Commelina benghalensis L.', 'Leucaena leucocephala' e 'Zea sp.' hanno registrato complessivamente un alto numero di esemplari, essendo probabilmente i gruppi più aggressivi, il che suggerisce che le attività di manutenzione e potatura non possano essere trascurate se si vuole mantenere sotto controllo la copertura vegetale spontanea.

Dalla sperimentazione si evince che le piante spontanee hanno caratteristiche e meccanismi di sviluppo idonei a una rapida colonizzazione nei tetti verdi con substrati ridotti, dato confermato da Oliveira, Rodrigues e Oliveira (2021) i quali sostengono che le piante con un'architettura radicale adeguata per i substrati poco profondi e le specie che hanno impollinatori e una buona riproduzione vegetativa possono svilupparsi meglio; il loro studio rileva, in particolare, che le piante con tricomi, attraverso un processo di fotosintesi specifico, possono colonizzare regioni aride rifrangendo parte della radiazione in eccesso, diminuendo il calore sulla superficie della pianta e catturando l'acqua dall'atmosfera, una caratteristica osservata anche durante la sperimentazione in piante come la 'Zea sp.'.

La 'Zea sp.' ha colonizzato il tetto durante gli ultimi giorni dell'esperimento, ma ha rapidamente conquistato una notevole quantità delle intersezioni complessive. Anche le bromeliacee hanno colonizzato i banchi di prova in modo aggressivo, grazie alla loro caratteristica di stoccare all'interno riserve di acqua (Oliveira, Rodrigues and Oliveira, 2021). Le piante nei substrati da 60 mm hanno mostrato un deterioramento del colore e un ammaloramento delle foglie, a causa dell'aggressione di insetti. Nel complesso, il substrato da 100 mm ha dimostrato di essere quello con il miglior rapporto tra spessore/leggerezza, elevata biodiversità, maggiore copertura vegetale e riproduzione iniziale, risultato coerente con le ricerche precedenti.

Uno dei limiti di questa ricerca è che le specie botaniche che sono state classificate non possono essere utilizzate in ogni regione climatica, poi-

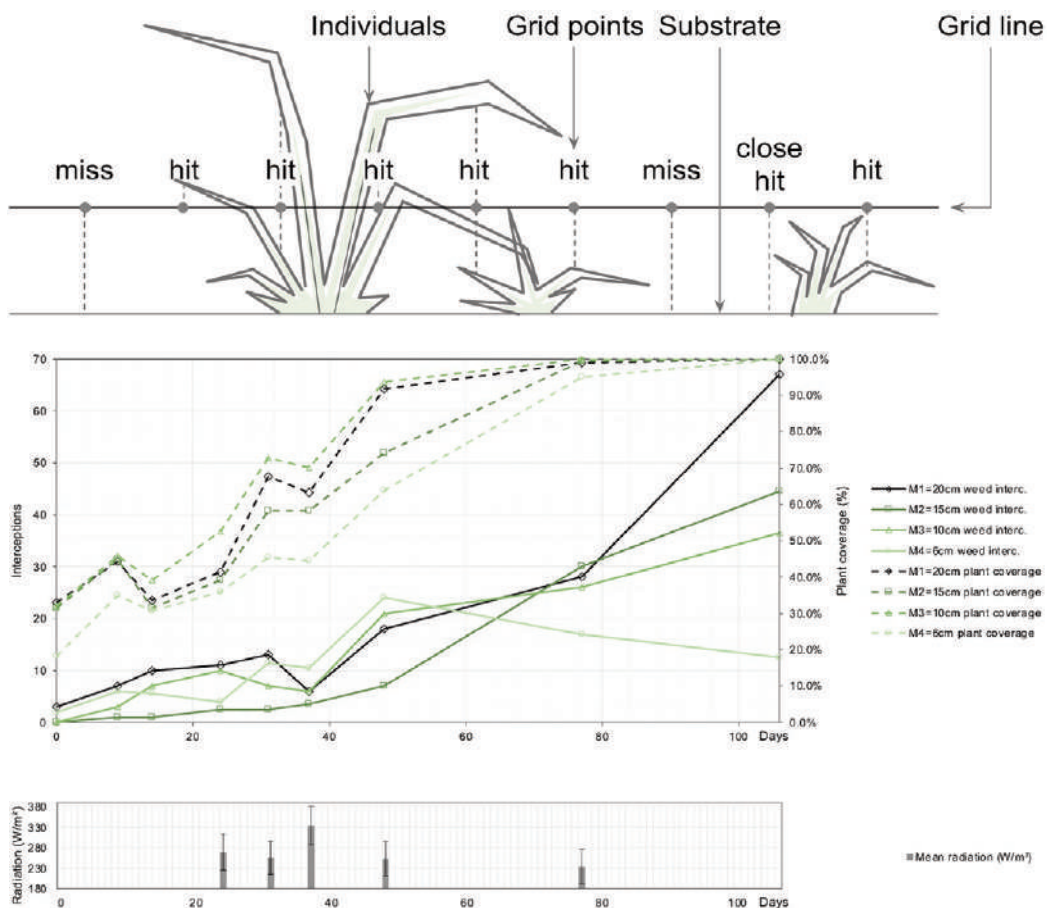
ché alcune specie in armonia con un ecosistema possono essere invasive per un altro. Per risolvere questo limite, sviluppi futuri potrebbero studiare non le specie ma le caratteristiche e meccanismi di crescita delle specie autoctone nella zona in cui si progetta il tetto verde. Un ulteriore limite della sperimentazione è che essa è circoscritta solo ai primi mesi di crescita, il che non consente di validare un modello per tutta la durata della vita del tetto verde.

**Conclusioni** | La ricerca ha mostrato i primi dati sulla crescita della vegetazione nei tetti con diver-

se profondità del substrato e fino al raggiungimento della copertura vegetale totale. La dinamica di crescita delle specie spontanee e di quelle messe a dimora è stata analizzata durante un lasso di tempo definito, ottenendo dati quantitativi e qualitativi. Le piante spontanee sono state in grado di colonizzare i banchi di prova, anche se questo processo di insediamento ha profondi legami con le caratteristiche delle specie piantate. I risultati mostrano la necessità di estendere la sperimentazione a un periodo più lungo e a più stagioni. Nelle diverse configurazioni dei banchi di prova, tutti dotati di irrigazione automatica, quello con

| Material  | Proportion | Benefits   |
|---|------------|--|
| Mixed substrate with organic compost, ashes, crushed and composted pine and eucalyptus bark | 64% (vol.) | Has abundance of nutrients, great water retention and high microbial counts, but is very heterogeneous, possibly having toxicity concerns and can store a seed bank if composting wasn't done properly |
| Coconut coir fibre dust   | 12% (vol.) | Has good water retention, but is low in nutrients  |
| Mixed grain sand  | 12% (vol.) | Structures the substrate providing anchorage and improves soil retention, it does not, however provide nutrient income   |
| Mixed grain vermiculite   | 12% (vol.) | Is lightweight, but deteriorates quickly and does not retain water very well   |

**Tab. 1** | Substrate materials used, their proportion and their positive and negative aspects (credit: adapted by the Authors from Ampim, 2010).



**Fig. 4** | Illustration of the point-intercept method (credit: adapted by the Authors from Chojnacky and Milton, 2008).

**Figg. 5, 6** | The top graph shows the number of interceptions of spontaneous species (main Y-axis) per day and plant coverage (secondary Y-axis) per day; and the bottom graph shows the average solar radiation during some of the data collection days (credits: the Authors).

| Family        | Species                          | Common name       |
|---------------|----------------------------------|-------------------|
| Asteraceae    | <i>Bidens pilosa</i>             | Spanish needle    |
|               | <i>Galinsoga parviflora</i>      | Gallant soldier   |
|               | <i>Sonchus oleraceus</i>         | Sow thistle       |
|               | <i>Vernonia sp.</i>              | Bitterleaf        |
| Commelinaceae | <i>Commelina benghalensis L.</i> | Benghal dayflower |
| Euphorbiaceae | <i>Acalypha sp.</i>              | Red cat's tail    |
|               | <i>Euphorbia graminea Jacq.</i>  | Grassleaf spurge  |
| Fabaceae      | <i>Arachis repens</i>            | Creeping peanut   |
|               | Fabaceae                         | Fabaceae          |
|               | <i>Leucaena leucocephala</i>     | Jumbay            |
|               | <i>Rhynchosia tomentosa</i>      | Twining snoutbean |
| Meliaceae     | <i>Melia azedarach</i>           | Chinaberry tree   |
| Poaceae       | <i>Zea sp.</i>                   | Corn              |
| Rubiaceae     | <i>Richardia brasiliensis</i>    | Brazilian clover  |
| Urticaceae    | <i>Pilea microphylla</i>         | Artillery plant   |

Tab. 2 | Species identified in the experiment (credit: the Authors).



Fig. 7-14 | Some of the spontaneous species identified. From left to right, top to bottom: 'Zea sp.', 'Bidens sp.', 'Richardia sp.', 'Leucaena sp.', 'Acalypha sp.', 'Galinsoga sp.', 'Euphorbia sp.', and 'Commelina sp.' (credits: the Authors).

il substrato meno profondo (6 cm) si è rivelato sufficiente per raggiungere la biodiversità, tuttavia ha avuto performance peggiori rispetto ai substrati con profondità maggiori. Il substrato con profondità di 10 cm, anche se non il più leggero, è quello che offre il giusto compromesso tra colonizzazione delle specie analizzate e leggerezza del substrato.

I tetti meno profondi presentano una maggiore varietà di specie: l'eterogeneità è un meccanismo naturale per la gestione collettiva della pressione ambientale, il che porta alla necessità di analizzare la vegetazione sui tetti come una comunità e non solo come singole specie, questo un possibile tema di ulteriori ricerche. I risultati della sperimentazione possono essere considerati un

utile strumento per i progettisti che vogliono realizzare un tetto verde capace di adattarsi nel migliore dei modi alle sollecitazioni ambientali locali. Allo stesso tempo si ritiene possano incoraggiare verso una pratica più sostenibile alla luce delle caratteristiche di crescita e di biodiversità della vegetazione, anche in condizioni di bassa manutenzione, e dell'elevato potenziale di natura paesaggistica ed estetica.

Se prevedere sui tetti piante spontanee è ancora una prassi poco comune verso la quale ci si muove con cautela, tuttavia, la realizzazione di un'infrastruttura verde con una maggiore biodiversità, capace di adattarsi alle condizioni locali attraverso specie spontanee, può realizzare un ecosistema più resiliente e consolidare le relazioni

culturali e storiche tra la popolazione e la vegetazione urbana. Più che una semplice copertura a verde, un tetto con vegetazione spontanea è da intendersi come un giardino che ospita la fauna locale e luogo con finalità didattiche sulla natura.

Anthropogenic actions have drastically damaged delicate natural cycles and habitats in various local contexts: densely occupied cities, as Vesuviano and Stovin (2013) point out, can lead to criticalities in land management, making Nature-based Solutions (NbS) such as bioretention, street tree planting and public parks hard to employ. Vegetation, as Vesuviano and Stovin (2013) point out again, can mitigate such critical issues since it can cover rooftops, thus enabling various Ecosystem Services (Oberndorfer et alii, 2007) defined by the International Union for Conservation of Nature as «[...] the benefits people obtain from ecosystems» (MEA, 2005, p. 40), according to an innovative approach to determine the human-nature interconnection. Subsequently, this approach was thus encompassed by the, defined by the term NbS, European Commission (2015, p. 5) as «[...] Solutions that are inspired and supported by nature».

In this view, drawing inspiration from nature and supporting its processes requires a systemic observation of nature itself with the aim of interacting with natural phenomena. It is, therefore, necessary to clearly define the meaning of natural and artificial processes, and Lacerda et alii (2013) do so in a simple way; human-made and natural are merely 'different orientations': artificial elements are produced (or caused) by a man with a specific function, while natural ones are a consequence of nature; the natural features will be able to live for a long time under favourable conditions, while the artificial one will need considerable maintenance in order to last.

The same reasoning applies to extensive vegetation on roofs, often grass, sometimes exotic or spontaneous species, which require periodic interventions to contain their proliferation. According to Lundholm (2015), it is necessary to understand these native plants to best exploit their benefits in urban ecosystems. Human-planted vegetation crops growing on rooftops is a subject of study, either to contain maintenance, gardening and irrigation costs, or to enhance Ecosystem Services such as biodiversity and habitats for species, but also to increase the aesthetic value and improve rainwater management (Dunnnett, 2015).

Based on these premises, the study reported here aims to systematically characterise the effects exerted by substrate depth during the first months of vegetation growth in low-maintenance green roof models. It is an important goal, as the early growth stages are crucial to better understanding vegetation distribution and resilience (Dunnnett, 2015). After a general overview of green roofs, the most relevant aspects related to the context of spontaneous vegetation and some specific characteristics of tropical and subtropical climates, the materials and methodology, the experiment, the Point-Intercept method, the results, a brief discussion of the results and conclusions follow.

**Green roofs** | Green roofs are certainly not a new architectural solution; Osmundson (1999) defines

them as any vegetation or garden separated from the ground by a building; there are different types, usually classified according to the depth of the substrate (from the shallowest to the deepest) but also with respect to the fact that they can be extensive, semi-intensive and intensive. According to Dunnett et alii (2008), intensive types may not be particularly appealing as social demand is directed more towards lightweight, ecologically 'well-balanced' and aesthetically pleasing roofs to allow a broader range of people to use them effectively. Figure 1 shows the typical succession of green roof layers, although each layer may have particular characteristics depending on the configuration of the roof and the type of climate. However, a relevant element is the composition of its substrate, which usually includes a specific range of materials. Ampim et alii (2010) provide an overview of substrate materials and their properties, classified between natural and mineral components, artificial or modified mineral components, waste or recycled materials or plastic foams and organic materials. Mulching is also an important component, as it can help the substrate lose less water through evaporation (Cianciaruso et alii, 2006).

**The scientific literature on spontaneous vegetation** | Lundholm (2015) points out that although green roofs are human-made structures, the dynamics of roof development are a direct consequence of the growth of spontaneous vegetation and maintenance activities performed by humans. Thus, identifying levels of 'organisation', from spontaneous autoecology and dynamics to engineered systems, the author suggests new approaches to design greening systems on roofs with self-regulating vegetation as compared to high-maintenance systems. Furthermore, Lundholm considers plant choice relevant since vegetation on roofs can have an enormous impact on system performance, e.g. in terms of water retention and thermal inertia (Dunnett et alii, 2008), he does not fail to emphasise the dangers of relying only on spontaneous colonisation if the principal goal is related to biodiversity, whose higher adaptability and aggressiveness of some species may put it at risk.

Notable among the published research is that of Dunnett (2015), who sheds light not only on the initial stages of colonisation but also on the subsequent ones, describing green roofs as dynamic ecosystems and emphasising the need for systems to be self-regulated in order to achieve a long-term response to environmental changes. In contrast, Nagase, Dunnett and Choi (2013) show how an excessive reduction in substrate depth can also reduce plant colonisation. In similar research, Catalano et alii (2016) analysed vegetated roofs in which no maintenance had been carried out for about 30 years, showing how spontaneous colonisation is a relevant and beneficial phenomenon since it allows the consolidation of botanical selection among local plant communities. Catalano et alii (2018) even analyse green roof regulations and guidelines in Germany, Switzerland and Italy, finding no references to eco-regions and plant characteristics; lastly, they find a need to address ecological aspects related to environmental compensation in green roof design. In light of these studies, it is evident that the analysis of the growth dynamics of spontaneous species must be con-

ducted in different climates, as local environmental conditions are relevant.

Research studies have mainly focused on temperate climates (Grullón-Penkova, Zimmerman and González, 2020), while the few recent studies conducted in tropical and subtropical climates have highlighted the need for a deeper understanding of vegetation growth dynamics based on the conditions of the specific context. Shallow substrate hampers the proliferation of plant species up to a certain depth (a threshold at which depth is no longer relevant), and native plants cope better with drought and the limited water supply by growing easier than those planted in shallow substrates. Nevertheless, testing is necessary to determine whether a shallow substrate can satisfy different species by becoming a suitable habitat for them. Verification may be relevant to identifying botanical selections for colonising green roofs with a shallow substrate, thus stimulating the spread of 'light roofs' (Silva, Flores-Colen and Antunes, 2017).

**Goals, experimentation, materials and methodology** | Experimental research shown here aims to systematically characterise the first few months of vegetation growth in green roofs as this is crucial to gaining a better understanding of the dynamics of colonisation and its resilience (Dunnett, 2015); the paper is original due to the fact that it reports an experiment in a humid subtropical context for which comprehensive and scientifically valid data are lacking to systematically define the growth patterns of spontaneous species for the purpose of their subsequent wider use.

To realise the goals of this research, the experimentation ran in São Paulo (Brazil) in a climatic context of transition between the tropical and sub-

tropical regions of the country, as reflected in the Köppen Geiger climate classification (Alvares et alii, 2014): on a broader scale, Martinelli (2010) classifies the City of São Paulo as Cwa (Humid Subtropical Zone, with dry winter and hot summer) and Aw (Tropical Zone, with dry winter). Some tests took place through a methodology for systematic sampling and characterisation of vegetation development dynamics. The experimentation ran on four outdoor testbeds, simulating a green cover, each 1.40 x 1.30 m with different substrate depths (6, 10, 15, 20 cm) but with the same structural elements. Figure 2 shows the distribution and depth of the substrate. Although the testbeds reveal a variety of parameters, including water and thermal performance, the experiments focus only on the dynamics of vegetation development.

The test benches consist of a support frame made of 30 mm square aluminium profiles in which a varnished pinewood box stands (Fig. 3). The internal layers, starting from the bottom, consists of a low-permeability HDPE (high-density polyethylene) geomembrane as a 0.5 mm thick waterproofing layer, a geodrainage membrane and a 100 g/sqm geotextile; the substrate, comprising of a combination of different materials (Tab. 1) and then mulch, consisting of decomposed dry leaves from trees in the vicinity of the laboratory, a practice that may be useful for seed propagation; lastly, 33 'Arachis repens' seedlings per square metre were planted, evenly distributed. The testbeds, which have a slope of 3%, are equipped with a solar radiation sensor and a Rain Bird irrigation system to keep the ground at a high humidity level, which uniformly waters the soil at 6 am via 15 drip sprinklers.

To assess the development dynamics of the spontaneous species, we placed a polyethylene wire with a 100 mm orthogonal grid on the test

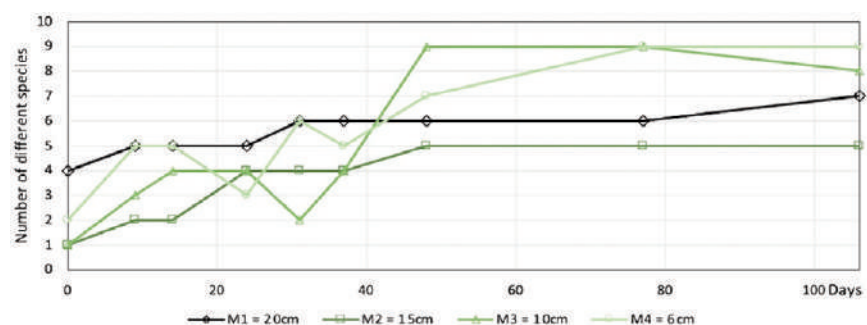


Fig. 15 | Total plant diversity in the experiment (credit: the Authors).

Fig. 16, 17 | 'Arachis repens' with open leaves and closed leaves under high radiation (credits: the Authors).



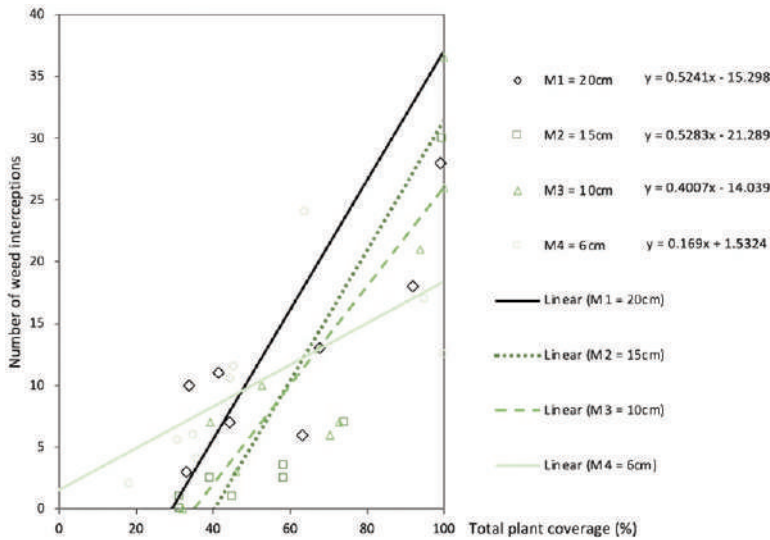


Fig. 18 | Correlations between plant coverage and the number of weed interceptions on each model using linear regression (credit: the Authors).

benches; at each node of the grid, a vertical as a reference for vegetation growth, according to the Point-intercept method (Fig. 4) of Mueller-Dombois and Ellenberg (2002) and Caratti (2006). The nodes provide a constant reference for verifying the development of 'Arachis repens' and any other wild plants. Plants that do not approach the node projections over time out of the experimental results. To improve the precision of the model, we speak of 'complete intersection' when the plants ideally intersect the grid point and about 'partial intersection' when the plants are very close to the grid point. Data collection began a couple of weeks after the first planting; during the first months, growth data were collected weekly and during the last months, every thirty days. The plant cover index is roughly estimated by dividing the total number of grid nodes by the number of grid nodes intersecting each day during laboratory data collection.

**Results** | Vegetation development has been rendered graphically in Figures 5 and 6, showing the number of intersections throughout the experiment. One can see how the overall vegetation cover (including both planted and spontaneous species) gradually increased over time. In particular, the testbed with the substrate with a depth of 10 cm had a higher vegetation cover throughout the experiment, a finding consistent with the conclusions of Dunnnett et alii (2008). With regard to spontaneous vegetation, the graph in Figure 5 shows that the number of interceptions of spontaneous vegetation (primary Y-axis with solid lines) is more in the shallower substrate during the first 40-50 days. This phenomenon may have occurred due to spaces between the planted plants that had been vacant for longer in the shallower substrate; over time, the deeper substrate became a more favourable habitat for spontaneous vegetation.

On the other hand, the graph in Figure 6 shows the solar radiation on the testbeds measured for a few days of the experiment, as radiation and vegetation cover have a close correlation. The graph clearly shows a decrease in the percentage of vegetation cover on day 37 when a higher than average solar radiation level took place, which is compatible with the well-known characteristic of 'Arachis repens' that it can move its leaves to ad-

just its exposure to radiation in relation to environmental conditions. Error bars of 95% confidence margin over the standard deviation applies.

The qualitative results of the experiments, relating to the species that spontaneously colonised the roofs and the 'Arachis repens' planted by the authors, are shown in Table 2 and summarised below: the botanical families with the most species were the 'Asteraceae' and 'Fabaceae' those with the highest number of species were the 'Comelinaceae' and 'Poaceae'. The complete experimental data are available on the Mendeley Data repository (Gobatti, Leite and Huttenlocher, 2022). In general, the results indicate that: the shallower substrate, which retains less water, initially hampers the development of the spontaneous plants but then still provides sufficient conditions for growth; a variety of weeds manage a rapid expansion (Fig. 7-14); the first volunteer species colonise the testbeds quickly (Fig. 15).

**Discussion of results** | Vegetated roofs constitute a dynamic ecosystem that can change significantly depending on the environmental conditions of the context (Dunnnett et alii, 2008). While the absence of rainfall did not affect results because an artificial irrigation system offset it, solar radiation certainly contributed to the results, as 'Arachis repens' has a complex leaf system (Fig. 16, 17) that shrinks in extension during days of increased solar radiation.

Spontaneous vegetation spread was influenced by vegetation coverage, mainly by the initial cultivation of 'Arachis repens'. Despite expectations (more planted plants than spontaneous ones), the spontaneous plant growth rate increased with the growth of the total vegetation cover (Fig. 18). We can explain this in the first few months of growing, during which there are still many gaps in the vegetation cover occupied by weeds. This correlation changes as the vegetation population of a roof may consolidate over time. Nevertheless, it is interesting to note that as the total plant cover increases, the percentage of spontaneous plants increases the shallower the substrate.

Spontaneous plants can arise through seed dispersal by the wind or propagation by animals (Ampim et alii, 2010). Data show that varieties have stopped growing in recent weeks, although the amount of weed has continued to increase; this

indicates that some species are favoured and so the relative diversity of the total number of plants is reduced. The species 'Commelina benghalensis L.', 'Leucaena leucocephala' e 'Zea sp.' recorded high numbers, probably the most aggressive groups, so one cannot neglect maintenance and pruning activities if one wants to keep the spontaneous vegetation cover under control.

Experiments show that spontaneous plants have characteristics and development mechanisms suitable to colonise rapidly on green roofs with shallow substrates, according to Oliveira, Rodrigues and Oliveira (2021) arguing that plants with a root architecture suitable for reduced substrates and species that have pollinators and vegetative reproduction can develop better. They found that plants with trichomes, through a specific photosynthesis process, can colonise dry regions refracting part of the excess radiation, decreasing heat on the plant surface and capturing water from the atmosphere, a characteristic seen during experimentation in plants such as 'Zea sp.'.

The 'Zea sp.' colonized the roof during the last days of the experiment but quickly conquered a considerable amount of the overall intersections. Bromeliads also aggressively colonised substrates depending on their characteristic of storing water reserves inside (Oliveira, Rodrigues and Oliveira, 2021). The plants in the 60 mm substrates showed a deterioration of colour and leaf decay due to insect aggression. Overall, the 100 mm substrate proved to have the best ratio of thickness/lightness, high biodiversity, increased plant cover and early reproduction results, consistent with previous research.

One of the limitations of this research is that the classified botanical species cannot be used in all climatic regions, as some species in harmony with one ecosystem may be invasive to another. As a solution to this restriction, future developments could study not the species but the characteristics and growth mechanisms of native species in the area where the green roof design is taking place. A further limitation of experimentation results from the fact it is only in the first few months of growth, making it impossible to validate a model for the entire life of the green roof.

**Conclusion** | The research showed the first data on vegetation growth in roofs with different sub-

strate depths up to full vegetation cover. The growth dynamics of wild and planted species during a defined period of time of quantitative and qualitative data analysis took place. Spontaneous plants were able to establish themselves in the testbeds, although this establishment process has profound links with the characteristics of the planted species. Results show the need to extend the experiments to longer duration and more seasons. In the different configurations of the testbeds, all equipped with automatic irrigation, the one with the shallowest substrate (6 cm) proved to be sufficient to achieve biodiversity but performed worse than the deeper substrates. Although not the lightest, the 10 cm depth substrate is the one that offers the right compromise of colonising the tested species and the lightness of the substrate.

### Acknowledgements

Authors acknowledge the University of São Paulo and the Santander Bank via USP Municipalities Notice 01/2021 Desafio USP – Cidades Sustentáveis for the research funding provided [grant number 2021.1.471.3.0] which made possible the assembly of the green roof models and provided financial support for L. Gobatti and I. G. Huttenlocher. The authors also thank the Foundation Hydraulics Technological Centre (FCTH) for their support and Forseti Soluções for the material provided and Juliana Trindade for helping with botanical identification. Although all authors participated in all research phases: L. Gobatti has built the experiment and the methodology, I. G. Huttenlocher has made most of the laboratory data collection and B. C. C. Leite has advised the work.

### References

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., de Moraes Gonçalves, J. L. and Sparovek, G. (2014), “Köppen’s climate classification map for Brazil”, in *Meteorologische Zeitschrift*, vol. 22, n. 6, pp. 711-728. [Online] Available at: doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507 [Accessed 15 March 2022].

Ampim, P. A. Y., Sloan, J. J., Cabrera, R. I., Harp, D. A. and Jaber, F. H. (2010), “Green Roof Growing Substrates – Types, Ingredients, Composition and Properties”, in *Journal of Environmental Horticulture*, vol. 28, issue 4, pp. 244-252. [Online] Available at: doi.org/10.24266/0738-2898-28.4.244 [Accessed 15 March 2022].

Caratti, J. (2006), *Point Intercept (PO) – Sampling Method*, USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD. [Online] Available at: fs.fed.us/rm/pubs/rmrs\_gtr164/rmrs\_gtr164\_09\_point\_inter.pdf [Accessed 15 March 2022].

Catalano, C., Laudicina, V. A., Badalucco, L. and Guarino, R. (2018), “Some European green roof norms and guidelines through the lens of biodiversity – Do ecoregions and plant traits also matter?”, in *Ecological Engineering*, volume 115, pp. 15-26. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.01.006 [Accessed 15 March 2022].

Catalano, C., Marcenò, C., Laudicina, V. A. and Guarino, R. (2016), “Thirty years unmanaged green roofs – Ecological research and design implications”, in *Landscape and Urban Planning*, vol. 149, pp. 11-19. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.01.003 [Accessed 15 March 2022].

Chojnacky, C. D. and Milton, M. (2008), “Measuring Carbon in Shrubs”, in Hoover, C. M. (ed.), *Field Measurements for Forest Carbon Monitoring – A Landscape-Scale Approach*, Springer, Dordrecht, pp. 45-72. [Online]

The shallower roofs present a greater variety of species: heterogeneity is a natural mechanism for the collective management of environmental pressure, which leads to the need to examine rooftop vegetation as a community and not just as individual species, a possible topic for further research. The experimental results are helpful as a tool for designers who want to create a green roof that can best adapt to local environmental stresses. At the same time, they consider that they can encourage more sustainable practices in light of the growth and biodiversity characteristics of the vegetation, even under low maintenance conditions, and the high landscape and aesthetic potential.

Spontaneous plants on rooftops are still uncommon practices not yet familiar, creation of green infrastructure with more biological variety

Available at: doi.org/10.1007/978-1-4020-8506-2\_5 [Accessed 15 March 2022].

Cianciaruso, M. V., Pires, J. S. R., Delitti, W. B. C. and Silva, E. F. L. P. (2006), “Litter fall and leaf decomposition in cerrado Jataí Reserve, municipality of Luiz Antônio, São Paulo State, Brazil”, in *Acta Botanica Brasílica*, vol. 20, issue 1, pp. 49-59. [Online] Available at: doi.org/10.1590/S0102-33062006000100006 [Accessed 15 March 2022].

Dunnett, N. (2015), “Ruderal Green Roofs”, in Sutton, R. K. (ed.), *Green Roof Ecosystems*, Ecological Studies, vol. 223, Springer International Publishing Switzerland, pp. 223-255. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-14983-7 [Accessed 15 March 2022].

Dunnett, N., Nagase, A. and Hallam, A. (2008), “The dynamics of planted and colonising species on a green roof over six growing seasons 2001-2006 – Influence of substrate depth”, in *Urban Ecosystem*, vol. 11, pp. 373-384. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11252-007-0042-7 [Accessed 15 March 2022].

European Commission (2015), *Towards an EU Research and Innovation Policy Agenda for Nature-based Solutions & Re-naturing Cities*. [Online] Available at: op.europa.eu/it/publication-detail/-/publication/fb117980-d5aa-46df-8edc-af367cddc202 [Accessed 15 March 2022].

Gobatti, L., Leite, B. C. C. and Huttenlocher, I. G. (2022), *Unmanaged tropical green roof spontaneous vegetation dynamics – Effects of substrate depth*, *Mendeley Data*, V2. [Online] Available at: doi.org/10.17632/36cp9kzsf2 [Accessed 15 March 2022].

Grullón-Penkova, I. F., Zimmerman, J. K. and González, G. (2020), “Green roofs in the tropics – Design considerations and vegetation dynamics”, in *Heliyon*, vol. 6, issue 8, e04712, pp. 1-8. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04712 [Accessed 15 March 2022].

Lacerda, D. P., Dresch, A., Proença, A. and Antunes Júnior, J. A. V. (2013), “Design Science Research – A research method to production engineering”, in *Gestão & Produção*, vol. 20, issue 4, pp. 741-761. [Online] Available at: doi.org/10.1590/S0104-530X2013005000014 [Accessed 15 March 2022].

Lundholm, J. T. (2015), “Spontaneous dynamics and wild design in green roofs”, in *Israel Journal of Ecology & Evolution*, vol. 62, issue 1-2, pp. 21-31. [Online] Available at: dx.doi.org/10.1080/15659801.2015.1025511 [Accessed 15 March 2022].

Martinelli, M. (2010), “Clima do Estado de São Paulo”, in *Confins*, n. 8. [Online] Available at: doi.org/10.4000/confins.6348 [Accessed 15 March 2022].

MEA – Millennium Ecosystem Assessment (2005), *Ecosystems and Human Well-being – Synthesis*, Island Press, Washington (DC). [Online] Available at: millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf

and the ability to adapt to local conditions through wild species can create a more resilient ecosystem and consolidate cultural and historical relationships between people and urban vegetation. More than just a green roof, a roof with spontaneous vegetation needs a garden for local fauna and a place with an educational purpose in nature.

[Accessed 15 March 2022].

Mueller-Dombois, D. and Ellenberg, H. (2002), *Aims and methods of vegetation ecology*, The Blackburn Press, Caldwell.

Nagase, A., Dunnett, N. and Choi, M.-S. (2013), “Investigation of weed phenology in an establishing semi-extensive green roof”, in *Ecological Engineering*, vol. 58, pp. 156-164. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.06.007 [Accessed 15 March 2022].

Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R. R., Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S., Köhler, M., Liu, K. K. Y. and Rowe, B. (2007), “Green Roofs as Urban Ecosystems – Ecological Structures, Functions, and Services”, in *BioScience*, vol. 57, issue 10, pp. 823-833. [Online] Available at: doi.org/10.1641/B571005 [Accessed 15 March 2022].

Oliveira, D. S., Rodrigues, D. S. and Oliveira Jr., C. J. F. (2021), “Telhados verdes – Uma proposta para o uso com espécies nativas do Brasil | Green roofs – A proposal for use native species in Brazil”, in *Mix Sustentável*, vol. 7, n. 3, pp. 111-126. [Online] Available at: ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/download/4593/3679 [Accessed 15 March 2022].

Osmundson, T. (1999), *Roof Gardens – History, Design and Construction*, W.W. Norton & Company, New York.

Silva, C. M., Flores-Colen, I. and Antunes, M. (2017), “Step-by-step approach to ranking green roof retrofit potential in urban areas – A case study of Lisbon, Portugal”, in *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 25, pp. 120-129. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ufug.2017.04.018 [Accessed 15 March 2022].

Vesuviano, G. and Stovin, V. (2013), “A generic hydrological model for a green roof drainage layer”, in *Water Science & Technology*, vol. 68, issue 4, pp. 769-775. [Online] Available at: doi.org/10.2166/wst.2013.294 [Accessed 15 March 2022].

## BOTANICAL CONCRETE

Sperimentazione su substrati di calcestruzzo per l'inverdimento verticale

## BOTANICAL CONCRETE

Experimentation on concrete substrates for vertical greening

Lucas Büscher, Roman Polster, Heike Klussmann

### ABSTRACT

La ricerca sul Botanical Concrete indaga con un approccio innovativo, basato sul design thinking, i materiali e la fitotecnologia, nei sistemi di inverdimento per pareti al fine di dare nuove funzioni al calcestruzzo e consentire l'insediamento superficiale permanente contemporaneamente di crittogame e tracheofite, due specie con diverse esigenze di substrato che si traducono in due distinti requisiti del calcestruzzo. Dalla combinazione dei risultati delle sperimentazioni sulle crittogame e sulle tracheofite si genera un approccio inedito e attento alle risorse per l'inverdimento verticale, capace di sfruttare le superfici impermeabili comunemente presenti negli spazi edificati per insediare la vegetazione, migliorare i microclimi locali, aumentare la biodiversità urbana e creare nuovi biotopi.

Botanical Concrete collaboratively investigates a fundamentally new approach to wall-based vertical greening systems, based on design thinking, materials research and phytotechnology, to functionalize concrete and allow the permanent establishment of cryptogams and tracheophytes on its surface, two species with different substrate demands requiring two different sets of parameters for functionalisation. Combining the results of research into cryptogams and tracheophytes produces a novel, resource-conserving approach to vertical greening, able to take advantage of the impermeable surfaces commonly found in built space to establish vegetation, improve local microclimates, increase urban biodiversity, and create new biotopes.

### KEYWORDS

inverdimento verticale, substrato di calcestruzzo, calcestruzzo vivente, infrastruttura verde, bioricettività

vertical greening, concrete substrate, living concrete, green infrastructure, bio-receptivity

**Lucas Büscher**, Horticulturist, is a Research Associate at the Department of Landscape Architecture/Technology, University of Kassel (Germany). In his PhD thesis 'concrete habitat' he focuses on the functionalisation of concrete and its surface in the context of vertical green, targeted vegetation and vegetation dynamic and substrate development. E-mail: l.buescher@asl.uni-kassel.de

**Roman Polster**, Urban Planner, is a Research Associate at the research group Bau Kunst Erfinden, University of Kassel (Germany). His research centres on architectural engineering and the development of smart materials for the building and construction industry. In his PhD thesis, he focuses on the functionalisation of concrete and its surface in the context of vertical green and targeted greening. E-mail: polster@uni-kassel.de

**Heike Klussmann** is a Professor of Art and Architecture at the University of Kassel (Germany), where she directs the research group Bau Kunst Erfinden, which is dedicated to the development of innovative materials systems at the convergence of art, architecture and new technologies. She has taught and conducted research at the Art Center College of Design, Pasadena and the Monash University, Melbourne (Australia). E-mail: klussmann@asl.uni-kassel.de

Il benessere degli abitanti dei centri urbani ad alta densità è costantemente minato sia dall'effetto isola di calore (Deilami, Kamruzzaman and Liu, 2018) sia dal consumo e dall'impermeabilizzazione di suolo, tutti effetti e fattori in costante crescita (Statistisches Bundesamt, 2016) che comportano impatti negativi significativi sulla salute umana, sulla disponibilità di spazi aperti, sulla biodiversità e sull'offerta di biotopi (McDonald et alii, 2020). Il valore degli spazi verdi urbani e i loro effetti positivi psicologici e fisici sull'organismo umano sono ben documentati (Takano, Nakamura and Watanabe, 2002; Wong et alii, 2021), ma la ridotta disponibilità di aree verdi urbane non è sufficiente a incidere sul potenziamento della biodiversità o sul miglioramento del microclima. Il verde verticale può fornire un importante contributo nel fronteggiare le sfide emergenti dovute alla proliferazione delle superfici impermeabili a discapito degli spazi naturali (Statistisches Bundesamt, 2016), ma può anche risolvere criticità di natura socioculturale, qualitativa dell'aria (Ysebaert et alii, 2021) e legate al riscaldamento urbano (Manso et alii, 2021), incidendo sulla qualità dell'architettura e degli spazi aperti di una città resiliente.

A differenza degli interventi di inverdimento orizzontale quelli su superfici verticali superano la necessità di un collegamento al suolo o di un tetto verde poiché sfruttano la parete come struttura e allo stesso tempo possono fungere da elemento termoregolatore e per la ortocoltura. Per il mondo scientifico può essere di interesse la messa a punto di substrati che favoriscano l'insediamento e la crescita di piante su superfici impermeabili in sostituzione delle attuali non portanti come quelle in tessuto (Magistrat der Stadt Wien, 2019) o in plastica combinate con altri elementi funzionali in complessi componenti multistrato (FLL, 2018) che determinano un aumento dei costi di realizzazione e di gestione dei rifiuti e generano materiali non riciclabili. Nell'ottica di ottimizzare il rapporto costi-benefici (Riley, 2017; Eppel, 2018), il presente contributo riporta gli esiti di una sperimentazione sull'inverdimento di pareti in calcestruzzo, tracciando lo stato attuale della ricerca e delle tecnologie disponibili, formulando un inedito obiettivo per il progetto, descrivendo due approcci metodologici innovativi e discutendo su limiti e sviluppi futuri della ricerca.

**Lo stato attuale della ricerca e le tecnologie disponibili** | Il calcestruzzo è un materiale da costruzione consolidato per pareti e facciate, riciclabile (DAfStb Beton, rezyklierte Gesteinskörnung; 2010-09) e versatile grazie all'ampia gamma di miscele disponibili. Quando impiegato in esterno, il calcestruzzo è soggetto alla colonizzazione delle crittogame o delle piante vascolari che riescono a crescere sulla superficie danneggiata in prossimità dei giunti. Diversi sono gli studi sulla bioricettività del calcestruzzo: Manso Blanco (2014) si è concentrato esclusivamente sul valore del PH trascurando altri fattori specifici del sito; Veeger, Ottelé and Prieto (2021) hanno ottenuto risultati promettenti e illuminanti, dapprima realizzando un biofilm su campioni di calcestruzzo altamente alcalino privo di qualità strutturali, poi favorendo la bioricettività attraverso una miscela di aggregati e calcestruzzo di Portland e infine mettendo a punto un composito strutturale mediante la combinazione di miscele a base di argilla espansa

e calcestruzzo ad altissime prestazioni (UHPC).

La FLL (2018) riferisce dell'uso del calcestruzzo come substrato per la coltivazione delle piante, ma lo cita solo come materiale di rivestimento senza fornire specifiche tecniche e prestazionali, assimilandolo a uno tra i tanti componenti non strutturali di un involucro a strati. Se alcuni studi sull'inverdimento delle pareti hanno fornito risultati incoraggianti sull'impiego di calcestruzzo poroso in combinazione con substrati aggiunti (Ottelé, 2011; Riley et alii, 2019), per compensarne le limitate capacità portanti altre ricerche hanno previsto l'utilizzo di sistemi compositi multistrato o di superficie (Riley et alii, 2019; Respyre, n.d.). In generale le ricerche mostrano come l'aumento della bioricettività del calcestruzzo abbia determinato una significativa riduzione della resistenza a compressione e della durabilità del materiale, limitandone l'impiego in elementi strutturali. L'acqua rappresenta un elemento vitale per la vegetazione solitamente gestito con sistemi di irrigazione artificiale; alcuni progetti pilota (UCL, n.d.) stanno studiando uno stato di rivestimento del calcestruzzo che trattiene l'acqua grazie a particolari porosità, livello di acidità e sostanze nutritive contenute nell'impasto, utili a favorire l'insediamento di muschi, licheni e alghe. Il successo e la diffusione di tali sistemi dipendono in larga misura dalle condizioni climatiche e dai fattori specifici del sito, quali esposizione e umidità.

In sintesi, ad oggi l'ottimizzazione della bioricettività del calcestruzzo è possibile a fronte della perdita delle sue funzioni portanti; sono poi necessari sistemi di irrigazione artificiale, mancano dati generalizzabili sulla configurazione tridimensionale dei siti di germinazione e crescita delle specie vegetali e la ricerca sull'insediamento della tracheofite su superfici verticali in calcestruzzo è sottorappresentata.

**Obiettivo, approccio interdisciplinare e metodologia** | Il progetto di ricerca Botanical Concrete si propone di studiare un nuovo approccio all'inverdimento verticale per favorire l'insediamento permanente della vegetazione su superfici in calcestruzzo. I parametri materiali e ortocolturali definiti dalla ricerca costituiranno la base per una progettazione di pareti e facciate a prova di stagioni e condizioni atmosferiche e consentiranno modalità di insediamento non invasivo di specifici muschi e tracheofite sulle superfici verticali in calcestruzzo, impiegando soluzioni integrate a bassa tecnologia per limitare l'evaporazione dell'acqua.

Il Botanical Concrete si basa su un assunto originale: il calcestruzzo con funzione strutturale può essere modificato in modo da supportare attivamente l'insediamento mirato e la crescita su superfici verticali delle crittogame e tracheofite selezionate. Si tratta di un approccio innovativo e interdisciplinare che si avvale di competenze provenienti da diversi settori quali la pianificazione, l'architettura del paesaggio, il design, la scienza dei materiali, la fitotecnologia e la fitosociologia (attraverso ricerca di base e ingegneria applicativa per tutte le diverse fasi del processo edilizio) per funzionalizzare con la coltivazione di piante un materiale consolidato nel settore delle costruzioni che in futuro continuerà a essere utilizzato in forma riciclata. L'aggiunta di funzionalità bioricettive al calcestruzzo consente di ottenere vantaggi tecnologici, estetici ed ecologici, contribuendo anche a compensarne l'elevata impronta di carbonio.

Le crittogame e le tracheofite hanno esigenze di substrato diverse che, per funzionalizzare il calcestruzzo, comportano due distinti requisiti: per capire come realizzare un sistema di inverdimento verticale a parete architettonicamente ambizioso, efficiente nella gestione delle risorse ed efficace dal punto di vista ambientale è quindi necessario affrontare il tema da prospettive diverse. L'indagine interdisciplinare si basa su due approcci innovativi, ingegneristico e fitotecnologico, per valutarne in termini metodologici e di risultato sia l'idoneità del calcestruzzo strutturale come substrato per la vegetazione sia il potenziale estetico. L'approccio ingegneristico indaga sulla funzionalizzazione bioricettiva della superficie del calcestruzzo, particolarmente adatta alla colonizzazione delle crittogame, mentre l'approccio fitotecnologico analizza la vegetazione nel suo habitat naturale per modificare il calcestruzzo e renderlo un substrato adatto all'insediamento delle tracheofite.

**Metodo 1: ingegneria dei materiali e colonizzazione delle crittogame** | Per l'insediamento delle crittogame si è resa necessaria la realizzazione di un substrato di crescita (sotto forma di aggregato minerale come roccia lavica, pomice o zeolite; Fig. 1) sulla superficie esterna dell'elemento in calcestruzzo (Polster and Klusmann, 2019); in tal modo si realizza un microambiente localizzato utile alla crescita del muschio e si mantiene inalterata la miscela dei componenti del calcestruzzo con funzione strutturale. Le sperimentazioni condotte per l'integrazione del materiale minerale sulla superficie del calcestruzzo hanno permesso di mettere a punto i componenti impiegati (rivestimento della cassaforma, nastro di applicazione, disattivatore, aggregato, cassaforma e matrice di calcestruzzo): la Figura 2 illustra la procedura per la preparazione della matrice e la disposizione dell'aggregato.

Per riprodurre la crescita dei muschi sulle superfici in cemento è stata condotta una campagna di rilevamento (nelle regioni dell'Assia e della Baviera) dei muschi che crescono su substrati minerali di superfici esterne, documentandone e analizzandone la geometria tridimensionale, la struttura superficiale e la composizione per poi suddividerli in tre categorie (superfici verticali, giunti e fessure rocciose), prestando particolare attenzione ad angoli, dimensioni e altri parametri tecnici ai fini di una loro riproduzione sul calcestruzzo. Sono state ricavate tre geometrie con una profondità di 0-17 mm: una piana relativa alle superfici verticali delle pareti in calcestruzzo degradate dagli agenti atmosferici (Fig. 3), una concava presente nei giunti erosi e dilavati di muri in mattoni e pietra (Fig. 4), una a cuneo riferibile alle fessure presenti nelle formazioni rocciose (Fig. 5) causate dagli agenti atmosferici e dall'azione del gelo e del disgelo.

L'interazione tra i parametri specifici del materiale e la geometria del sito di crescita è stata testata utilizzando campioni di calcestruzzo ad alta e altissima resistenza, inizialmente sotto forma di pannelli con dimensioni di 100 x 100 mm e 200 x 200 mm e spessori di 20-30 mm, prodotti tramite stampo in polistirene e lattice con geometrie piane, lineari e a cuneo. Gli aggregati di lava e pomice (2-3 mm e 3-4 mm) sono stati prima puliti da sostanze estranee mediante lavaggio e poi collocati sulle matrici nell'area dei siti di crescita con un adesivo, necessario sia per fissare gli aggregati duran-



**Fig. 1** | Washed aggregates: lava, pumice, zeolite (credit: BauKunstErfinden, 2018).

**Fig. 2** | Seeding the form liner with lava aggregate, 2-3 mm diameter (credit: R. Polster, 2019).

te il getto di calcestruzzo sia per realizzare una loro distribuzione densa e omogenea sulle matrici (Fig. 6).

Le caratteristiche dell'aggregato e soprattutto la qualità, la granulometria e la composizione del materiale risultano di particolare importanza per la funzione del monostrato, al pari della profondità di inglobamento delle sue particelle nella superficie del calcestruzzo, sia per garantire l'ancoraggio dell'aggregato al calcestruzzo sia per fornire un'adeguata superficie 'aggrappante' per il muschio. Gli esperimenti condotti sulle geometrie piane, lineari e a cuneo hanno dimostrato che il metodo utilizzato consente la realizzazione di un monostrato di aggregati omogeneo sulla superficie del calcestruzzo (Fig. 7), mentre l'installazione di pannelli verticali in esterno ha consentito di studiare le fasi di colonizzazione e crescita del muschio dimostrando l'efficacia dell'azione congiunta del monostrato di aggregati e della struttura tridimensionale superficiale del calcestruzzo (Fig. 8).

**Metodo 2: fitotecnologia e insediamento delle tracheofite** | L'analisi delle specie vegetali spontanee presenti su superfici verticali quali rocce e pareti rappresenta il punto di partenza per creare le condizioni adatte all'insediamento delle tracheofite sul calcestruzzo nel quale lesioni, fessure, giunti e oggetti offrono spazi per la germinazione e la crescita della materia biologica. Il metodo descritto si basa su un esame fitosociologico di questi siti di crescita e delle comunità vegetali coinvolte, traducendo poi i risultati in parametri quantitativi e da valutare attraverso l'uso di campionature.

La vegetazione rocciosa e parietale si trova tipicamente in substrati poco profondi nei quali vi è un apporto idrico limitato; la germinazione avviene in luoghi isolati e la crescita tende a essere rada. Per consentirne la misurazione da ricondurre a un

modello di analisi è stata messa a punto una classificazione del materiale biologico in base a quattro parametri fondamentali del materiale, ossia la matrice del calcestruzzo, la macrostruttura tridimensionale, la superficie e il substrato di crescita, tutte variabili che permettono di gestire, in termini estetici e progettuali, il numero di siti di germinazione e crescita e la densità della vegetazione desiderati (Fig. 9).

Poiché la varietà di specie vegetali presenti sulle superfici verticali dipende anche dalle condizioni ambientali locali e varia notevolmente in base ai propaguli presenti (Brandes, 2013; Gausmann and Rosin, 2014) la campagna di rilevamento fotografico ha permesso di individuare le piante cosmopolite, colturali, ruderali e da pascolo come quelle che colonizzano più frequentemente i muri (Brandes and Brandes, 2010) e di predisporre un elenco con un ampio spettro di specie annuali e biennali capaci fiorire più volte. Il mix di sempreverdi, piante da fiore ed erbacee che si sviluppano sulla superficie del muro consente svariate opzioni progettuali in termini di colore, dimensioni, texture e struttura (Büscher, 2018), avendo però cura di selezionare le specie confrontandole in base a criteri rilevanti quali le condizioni di germinazione, vernalizzazione e stratificazione, i tempi di crescita e il potenziale di danneggiamento dei muri (generalmente più alto nelle piante legnose).

Sulla base della documentazione fotografica della vegetazione verticale spontanea è stato adottato un approccio innovativo che assimila il calcestruzzo a un orizzonte C (ad esempio la roccia; Polster et alii, 2020) e ripropone la sequenza di orizzonti A-C del suolo vergine. Per le piante vascolari selezionate, l'orizzonte C è integrato con un substrato aggiuntivo a grana fine, non legato al calcestruzzo, sviluppato appositamente per la sperimentazione e basato sull'orizzonte A presente in

natura nei substrati rocciosi e nei giunti delle pareti (Fig. 10). Nel modello proposto, il calcestruzzo deve funzionare come una parete rocciosa artificiale, immagazzinando acqua e fornendo un ancoraggio alle radici delle piante; allo scopo sono stati condotti test comparativi con diversi tipi di calcestruzzo: il calcestruzzo a grana 'non fine' ha una bassa capacità di carico del materiale ed è maggiormente soggetto a danneggiamento da parte delle radici legnose; quello (gettato in opera nella cassaforma in strati da circa 15-25 cm prima ricoperti da miscele di ghiaia-pietra lavica-argilla e poi compattati, secondo un metodo testato dagli autori) nel quale il substrato viene racchiuso in un 'nido' di 'cemento armato' è un'opzione esteticamente interessante, ma è relativamente costoso da produrre e ha consistenza che limita le forme che può assumere; l'UHPC non ha capacità di immagazzinare acqua a causa della sua densità.

Poiché secondo le classi di esposizione del calcestruzzo stabilite dalla German Concrete Standard (DIN EN 206-1/DIN 1045-2) è possibile produrre calcestruzzo normale con un rapporto acqua/cemento superiore a 0,4, permeabile al vapore e resistente al gelo e al disgelo, sono stati sviluppati e testati campioni in calcestruzzo realizzati con miscele diverse di aggregati con capacità di assorbimento dell'acqua differente: sabbia e ghiaia; sabbia, ghiaia e pomice; sabbia, ghiaia e calcestruzzo leggero frantumato; sabbia, ghiaia e mattoni frantumati. Sono stati quindi condotti test comparativi di germinazione per valutare la compatibilità delle piante con pomice, mattoni frantumati e calcestruzzo alleggerito frantumato, valutandone l'impiego con una granulometria fine (0-2 e 0-3 mm) sia come aggregati per calcestruzzo sia come substrati di crescita per le specie vegetali precedentemente selezionate. Tutti i materiali hanno mostrato un'idoneità di base all'insediamento della vegetazione e vitalità simile, sebbene si siano riscontrate delle differenze nella profondità di radicamento e nella crescita dei germogli ove presente la pomice rispetto ai materiali riciclati, i quali invece si sono dimostrati in grado di produrre strutture uniformemente piccole e resistenti in aree mirate (Fig. 11).

Sui muri e nelle fessure della roccia la pietra e la pianta stessa proteggono il substrato dal soleggiamento diretto impedendo l'evaporazione dell'acqua e fornendo una protezione naturale che è un obiettivo importante del progetto. Nei muri di Kassel sono state quindi misurate la larghezza e altezza degli incavi di germinazione – generalmente di piccole dimensioni, senza labbro superiore o inferiore (Figg. 12, 13) – effettuando confronti statistici e classificazioni per tipologia da tradurre in parametri strutturali. Non essendo sempre possibile confrontare i volumi degli incavi di formazione naturale sono stati condotti dei test su campioni in calcestruzzo che presentavano incavi di dimensioni diverse, impiegando casseforme e rivestimenti elastici riutilizzabili per replicare le potenzialità espressive delle specie vegetali in cavità puntiformi e lineari (Fig. 14).

**Conclusioni** | La ricerca sul Botanical Concrete dimostra che il calcestruzzo con funzione strutturale può supportare l'insediamento e la crescita di crittogame e tracheofite, risultato possibile grazie ai due differenti approcci metodologici adottati; tuttavia nel lungo periodo rimangono da valutare gli

effetti generati dai diversi fattori ambientali sulla vegetazione e la consistenza e integrità dei materiali. Attraverso un substrato con aggregati sulla superficie del calcestruzzo e un microrilievo tridimensionale è stato possibile realizzare una superficie bioricettiva per l'insediamento e la coltivazione di muschi, mentre con l'aggiunta di un substrato secondario a base di materiali riciclati e con una particolare geometria della superficie del calcestruzzo permeabile al vapore si sono create le condizioni favorevoli per l'insediamento e la germinazione delle tracheofite.

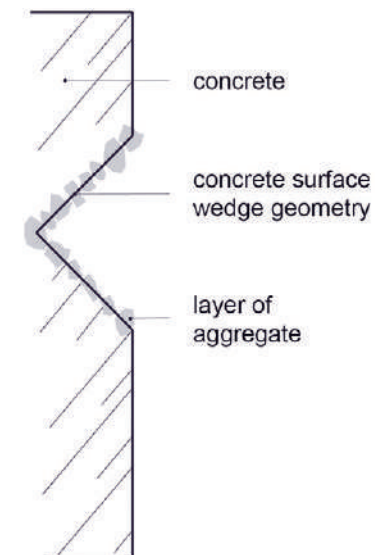
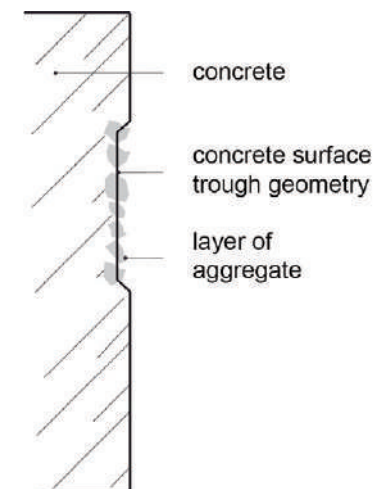
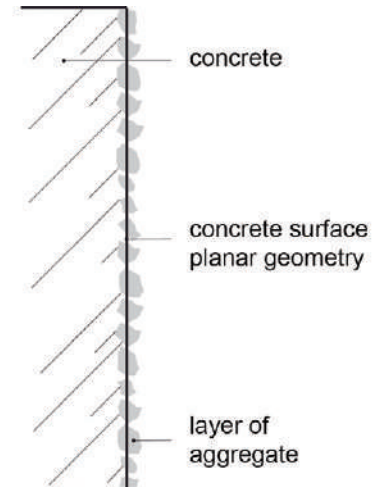
A livello metodologico è risultato fondamentale l'approccio interdisciplinare: l'individuazione di obiettivi e priorità condivisi, così come la scelta di lavorare collegialmente al di fuori dei confini disciplinari tradizionali, ha portato a una nuova prospettiva metodologica, creativa, scientifica e orientata alla pratica. I risultati ottenuti generano future opportunità di ricerca su questioni che riguardano l'apporto idrico, la variabilità della forma del materiale, il perfezionamento della cassaforma, la messa a punto di classificazioni strutturali e la metodologia di raccolta e restituzione di informazioni sui siti di insediamento della vegetazione. Sarà poi necessario confrontare con maggior dettaglio i requisiti delle crittogame e delle tracheofite e correlarli per meglio individuare sinergie e divergenze specifiche dei due approcci, prevedendo il coinvolgimento di un esperto di meteorologia per valutare gli effetti microclimatici reali e la quantità di CO<sub>2</sub> che può essere assorbita da una parete in cemento inverdita, il tutto con la speranza che essa possa migliorare i microclimi locali e la qualità architettonica, sfruttare meglio le superfici impermeabili, aumentare la biodiversità urbana e creare nuovi biotopi.

With the densification of cities, urban dwellers are increasingly burdened both by the heat island effect (Deilami, Kamruzzaman and Liu, 2018) as well as by land consumption and sealing of land, steadily increasing factors (Statistisches Bundesamt, 2016) which have significant negative impacts on human health, open space availability, biodiversity, and biotope supply (McDonald et alii, 2020). The value of green space in the city and its positive psychological and physical effects on the human organism are well documented (Takano, Nakamura and Watanabe, 2002; Wong et alii, 2021), but the reduced availability of urban green areas is not sufficient to affect the enhancement of biodiversity or the improvement of the microclimate. Vertical greening can provide an important contribution in facing the emerging challenges due to the proliferation of impermeable surfaces with the consequent detriment of natural spaces (Statistisches Bundesamt, 2016) and can also solve socio-cultural issues, improve air quality (Ysebaert et alii, 2021), curtail urban warming (Manso et alii, 2021), thus affecting the quality of architecture and natural spaces in a resilient city.

Unlike horizontal greening methods, wall-based approaches allow the greening of vertical surfaces unconnected to the ground or a green roof, as they make use of the wall from a structural viewpoint and, at the same time, act as a thermoregulatory element for horticulture. There is therefore a scientific interest in creating substrates that are capa-

ble of establishing and growing plants on impermeable surfaces, in substitution of current, non-load-bearing substrates such as fabric (Magistrat der Stadt Wien, 2019) and plastic support frameworks that are combined with other functional layers to form complicated, multi-layered sandwich structures (FLL, 2018), which increase the costs

of waste management and produce materials that cannot be recycled. In view of optimizing the cost-benefit relationship, (Riley, 2017; Eppel, 2018), this paper describes the results of experimentation regarding the greening of concrete walls, summarizing the current state of research and technology to formulate an unprecedented objective, de-



**Fig. 3** | Microrelief of the wall with growing moss: translation of parameters into planar geometry with aggregate monolayer (credit: R. Polster, 2019).

**Fig. 4** | Joint in a brick wall, Breitscheidstraße in Kassel (Germany): translation of parameters into trough geometry with aggregate monolayer (credit: R. Polster, 2019).

**Fig. 5** | Natural crevice in rock, Upper Franconia (Germany): translation of parameters into wedge geometry with aggregate monolayer (credit: R. Polster, 2019).

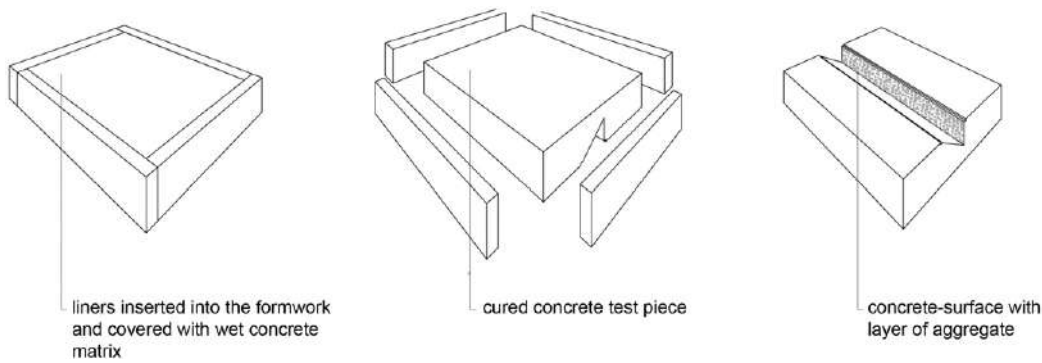


Fig. 6 | Schematic process of forming concrete matrix and subsequent treatment of cured concrete test piece (credit: R. Polster, 2019).

describing two innovative methodological approaches and discussing the limits and future developments for follow-up research.

**The state of current Research and Technology |** Concrete is well established as a building material for walls and facades; it is recyclable (DAfStb Beton, rezyklierte Gesteinskörnung:2010-09), and the wide range of concrete mix designs makes it adaptable to many different uses. Exterior building elements made of concrete are also receptive to colonization by cryptogams or vascular plants that are able to grow in the damaged mortar of joints in walls. There are various studies on the bio-receptivity of cement samples; Manso Blanco

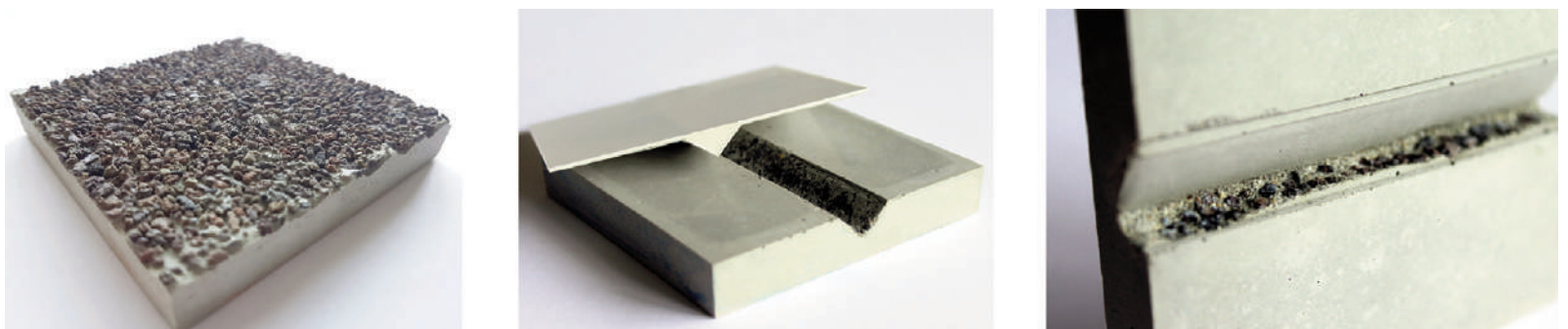


Fig. 7 | Test pieces showing aggregate monolayer in planar, trough, and wedge geometries (credit: R. Polster, 2019).



Fig. 7 | Test pieces showing aggregate monolayer in planar, trough, and wedge geometries (credit: R. Polster, 2019).



Fig. 9 | Naturally occurring vertical greening in a wide variety of leaf colours, growth habits, leaf shapes, and compactness: 'Cymbalaria muralis', 'Pseudofumaria lutea', and 'Asplenium ruta-muraria' (credit: L. Büscher, 2018).

(2014) focused exclusively on PH value, neglecting all other site-specific factors; Veeger, Ottelé and Prieto (2021) obtained encouraging and illuminating results, firstly succeeding in establishing biofilms on highly alkaline concrete samples without any structural qualities, then favouring bio-receptivity in concrete through the addition of aggregates to ordinary Portland cement, and finally creating a structural composite by combining these expanded-clay-based bio-receptive concrete mixes with ultra-high-performance concrete (UHPC), Veeger, Prieto and Ottelé (2021).

The FLL (2018) discusses the use of concrete as a substrate for cultivating plants, but mentions it only as a facing material, without giving any material and technical specifications and likening it to one of many non-structural components of a layered envelope. If certain studies have achieved results through the use of porous concrete in combination with additive substrates (Ottelé, 2011; Riley et alii, 2019), to compensate for the limited load-bearing capacities other studies have foreseen the use of multi-layered composite or surface-mounted systems (Riley et alii, 2019; Respyre, n.d.). In general, studies demonstrate how the process of increasing concrete's bio-receptivity determined a significant reduction of its resistance to compression and durability, limiting its suitability as a material for monolithic structural elements. Water is a vital factor for vegetation, which in the past has generally been addressed through the addition of artificial irrigation systems; pilot projects currently underway (UCL, n.d.) are investigating concrete cladding systems that combine water-retaining concrete with water-channelling surface morphologies to establish mosses, lichens, and algae. The success and distribution of such systems presumably depend to a great extent on local hydrological conditions and site-specific factors such as exposure, shade, and humidity.

In summary, today bioreceptive optimization of concrete is possible but it loses its load-bearing functions as a result; furthermore, artificial irrigation systems are needed or the water supply is not further quantified, generalizable data on the three-dimensional design of germination and growth sites are lacking, and research on the establishment of site-adapted tracheophytes on vertical concrete surfaces is underrepresented.

**Objective, methodology and interdisciplinary approach** | The Botanical Concrete research project aims to investigate a fundamentally new approach to wall-based vertical greening to allow the permanent establishment of vegetation on concrete surfaces. The material and horticultural parameters established through our research will serve as the basis for an all-season, all-weather, fail-safe design for walls and facades, allowing for the non-damaging establishment of mosses and selected tracheophytes on vertical concrete surfaces, and integrating low-tech solutions for irrigation to limit water evaporation.

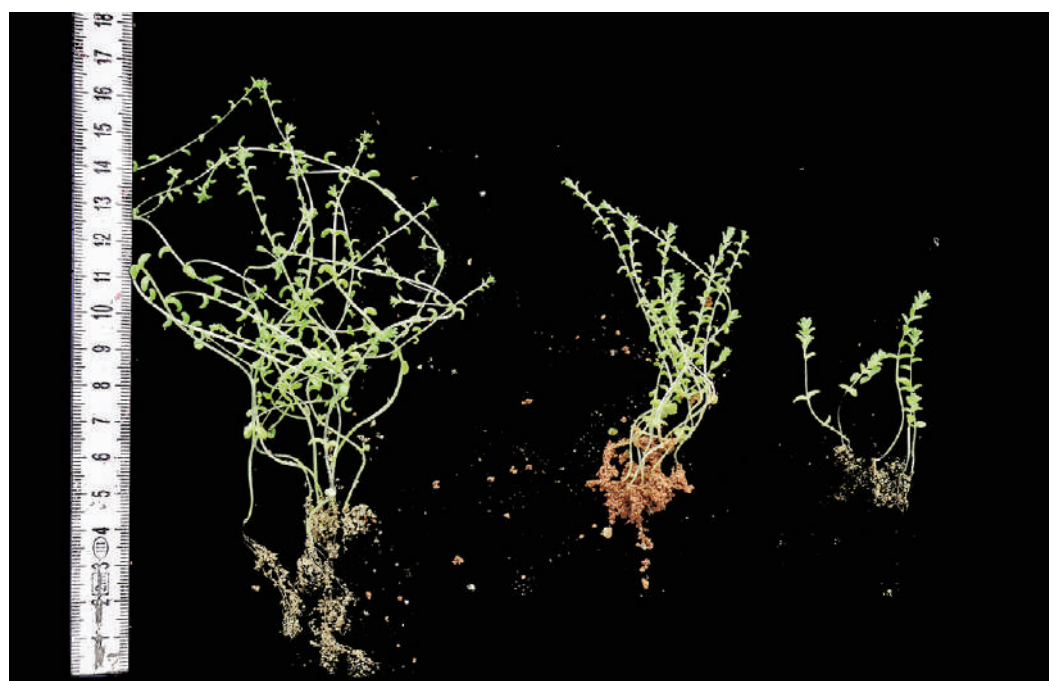
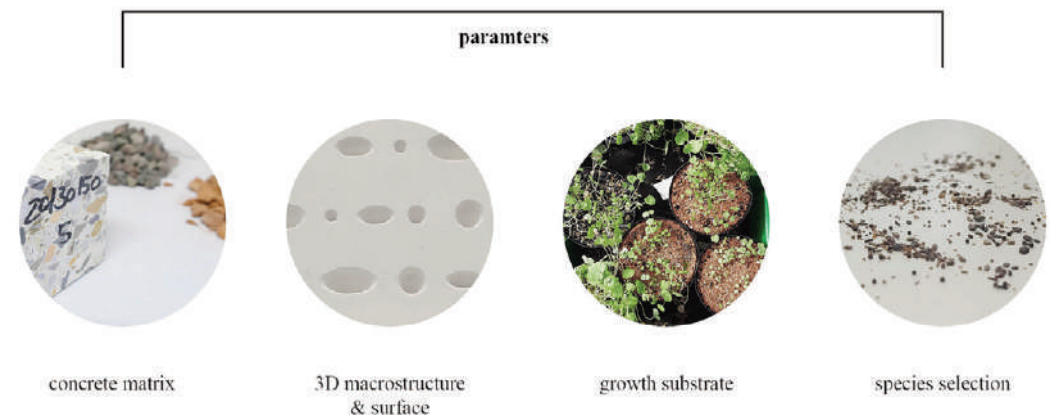
Botanical Concrete is based on an original hypothesis: permanently installable, structurally performant types of concrete can be modified so that they are capable of actively supporting the targeted establishment and growth of cryptogams and selected tracheophytes on vertical surfaces. It is an innovative and interdisciplinary collaborative project, pooling expertise from the fields of planning,

landscape architecture, design, material science, phytotechnology and phytosociology (through basic research and application engineering for all of the different phases of the building process), to functionalize, through plant cultivation, a material that is proven and established in architecture and industry; a material which, given its versatility and the scarcity of alternatives, will continue to be used for vertical walls and building facades in the future. The addition of bio-receptive functionality to concrete can provide technological, aesthetic, and ecological benefits while also helping to offset the material's high carbon footprint.

Cryptogams and tracheophytes place different demands on their substrates, requiring two different sets of parameters to be able to functionalize concrete for both of these groups: in order to learn how to build an architecturally ambitious, resource-efficient, environmentally effective wall-based vertical greening system, it is therefore necessary to approach this question from divergent perspectives. The collaborative investigation is thus based on two novel approaches, material-engineering

and phytotechnological, both of which examine the fundamental suitability of structural concrete as a substrate for vegetation, as well as its design potential. The material-engineering approach investigates the bio-receptive functionalization of the concrete surface, which is especially well suited to colonization by cryptogams, whereas the phytotechnological approach analyses natural vegetation sites to modify concrete to make it a suitable substrate for tracheophytes.

**Method 1: Material-engineering approach and cryptogam colonization** | In the cryptogam-oriented approach, the necessary growth substrate is incorporated into the concrete element's surface during the fabrication process, in the form of a mineral aggregate such as lava, pumice, or zeolite (Fig. 1; Polster and Klussmann, 2019); the aim is to create an extremely localized micro-milieu that will enable and encourage the growth of moss, while the mixture of the concrete aggregates with structural function is kept unaltered. The experiments carried out with various methods

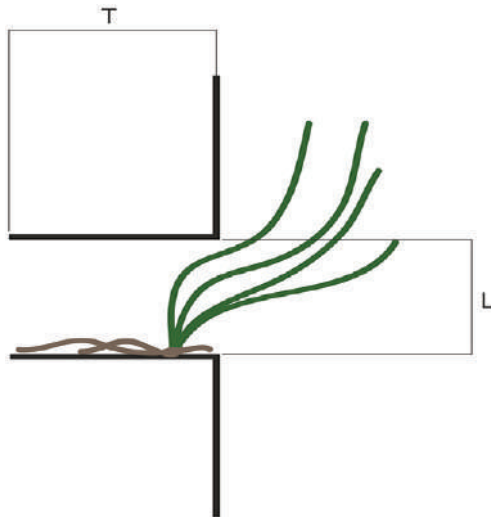


**Fig. 9** | Naturally occurring vertical greening in a wide variety of leaf colours, growth habits, leaf shapes, and compactness: 'Cymbalaria muralis', 'Pseudofumaria lutea', and 'Asplenium ruta-muraria' (credit: L. Büscher, 2018).

**Fig. 10** | Basic project parameters (credit: L. Büscher, 2022).

**Fig. 11** | Variation in size of 'Sedum acre' grown on substrates containing 75 m% pumice, crushed lightweight concrete, and crushed brick (credit: L. Büscher, 2019).





**Fig. 12** | Type H1 germination site (copyright: Fachgebiet Landschaftsarchitektur | Technik, 2019).

**Fig. 13** | 3D-printed form liner for creating punctiform recesses (credit: L. Büscher, 2021).

**Fig. 14** | Successful germination on concrete test piece with linear recesses (credit: L. Büscher, 2022).

of incorporating aggregate material into the concrete surface have made it possible to fine-tune the components involved (form liner, application tape, deactivator, aggregate, formwork, and concrete matrix): Figure 2 shows the procedure for preparing the form liner and arranging the aggregate.

In order to reproduce moss growth sites on concrete surfaces, we began by studying mosses growing on mineral substrates in outdoor locations (Hessen and Bavaria), documenting and analysing their three-dimensional geometry, surface structure, and composition, and then divided the sites into three categories (vertical surfaces, wall joints, and rock crevices), paying particular attention to the angles and dimensions of the sites in adapting the geometries and other technical parameters of naturally occurring growth sites to concrete. It was possible to derive three geometries with a depth of 0-17 mm: a planar geometry related to vertical

surfaces of naturally weathered concrete walls (Fig. 3), a trough geometry based on old, washed-out, eroded joints in brick and stone walls (Fig. 4), and a wedge geometry based on crevices found in rock formations (Fig. 5), caused by weathering and freeze-thaw action. The interaction of the material-specific parameters and the geometry of the growth site was tested using high-strength and ultra-high-strength concrete specimens, initially as panels with dimensions of 100 x 100 mm and 200 x 200 mm and thicknesses of 20-30 mm, developed through form liners and formworks made of polystyrene and latex with planar, web and wedge geometries. The lava and pumice aggregates (2-3 mm and 3-4 mm) were previously cleaned of foreign matter by washing, and then placed on the form liners in the area of the growth sites with adhesive, necessary to fix the aggregates during concrete casting and setting and to produce a dense and homogeneous distribution of the aggregates on the form liners, then inserted into the formwork and covered with wet concrete matrix (Fig. 6).

The characteristics of the aggregate, and, above all, the quality, granulometry, and the composition of the material are particularly important for the function of the monolayer, on par with the optimal embedding depth, both to ensure that the aggregate is securely anchored in the concrete and to provide a suitably 'sticky' surface for moss to attach to. The tests conducted onto planar, trough and wedge geometries showed that the procedure illustrated above worked well as a method of producing a homogenous aggregate monolayer on the surface of the concrete (Fig. 7), while the installation of vertically oriented test pieces on selected areas of an exterior facade allowed for the observation of the colonization and growth of moss, demonstrating the combined effectiveness of the aggregate monolayer and the three-dimensional micro-structuring of the concrete surface (Fig. 8).

### Method 2: Phytotechnology and tracheophyte establishment

The analysis of naturally occurring structures and plant species on vertical concrete surfaces such as rocks and walls represents the starting point to create the proper conditions for the establishment of tracheophytes on concrete, where cracks, crevices, joints, and ledges provide places to germinate and grow. The method described below is based on a phytosociological examination of these plant-growth sites and plant communities. The aim was to gain a fundamental understanding of the nature of germination and growth sites on vertical structures and the make-up of the plant communities involved, translating the findings into technically quantifiable parameters to be evaluated through the use of test pieces.

Rock-based and wall-based vegetation is typically found growing in shallow substrate layers on rock faces and rocklike materials with limited water supplies; germination and growth occur in isolated locations, and growth tends to be sparse. To obtain generalizable measurements of germination and growth sites, we developed a procedure for classifying the results of our analysis according to four basic material parameters: concrete matrix, 3D macrostructure, surface, and growth substrate. These parameters make it possible to manage, in aesthetic and design terms, the number of germination and growth sites and the vegetation density (Fig. 9).

Since the variety of plant species found on walls differs widely and reflects the local environment, depending on the propagules present there (Brandes, 2013; Gausmann and Rosin, 2014), the photographic survey analysis made it possible to identify cosmopolitan, cultigen, ruderal and grassland plants as the most important wall-colonizing species (Brandes and Brandes, 2010) and to compile a list comprising a broad spectrum of annuals and biennials, able to produce more blooms in the first two years. Furthermore, the mix of evergreens, flowering plants, and grasses, in combination with the wall surface, makes for a wide range of design options in terms of colour, size, texture, and structure (Büscher, 2018), with particular focus, however, on important criteria for species selection, such as comparable cultivation, vernalization and stratification conditions, time to maturity, and wall-damaging potential (generally higher in woody plants).

Based on the analysis of secondary data and photographs of naturally occurring vertical vegetation, we adopted a novel approach that treats the concrete as a C horizon (i.e., rock; Polster et alii, 2020) and tries to replicate the A-C horizon sequence of virgin soil. For our selected vascular plants, the C horizon is supplemented by an additional fine-grained, non-cement-bound substrate that was developed specifically for this project and is based on the naturally occurring A horizon found on rock substrates and wall joints (Fig. 10). In the proposed model, the concrete is intended to function as an artificial rock face, storing water and providing anchorage for plant roots. With this in mind, we conducted comparative tests of different concrete types and manufacturing methods: 'non-fine' concrete has a low load-bearing capacity and increased potential for damage, especially due to woody roots; rammed concrete (poured into the formwork in layers of approximately 15-25 cm first covered with a mixture of gravel-lava-stone-clay and then compacted, according to a method tested by the authors) in which the substrate is enclosed in a 'nest' of 'reinforced concrete is an aesthetically compelling option but comparatively expensive to produce, and its stiff consistency limits the forms it can take; UHPC has no water-storage capacity due to its extreme density.

Since, according to the exposure classes laid out in the German concrete standard (DIN EN 206-1/DIN 1045-2), it is possible to manufacture normal concrete with a w/c ratio greater than 0.4 which is both vapour-permeable and freeze-thaw resistant, we developed and tested concrete receptacles made with various aggregate mixes, and featuring varying water absorption levels: sand and gravel; sand, gravel, and pumice; sand, gravel, and crushed lightweight concrete; and sand, gravel, and crushed brick. This approach was chosen for further research.

We then conducted comparative germination tests to assess the compatibility of plants with pumice, crushed brick, and crushed lightweight concrete, under consideration as very fine aggregates (0-2 and 0-3 mm), both for plant-friendly concrete and as growth substrates for the previously selected plant species. We found that all three materials displayed basic suitability and similar vitality for the establishment of vegetation, although it was possible to note differences in rooting depth and shoot growth with the pumice as

compared to the recycled materials, which were instead able to produce uniformly small, resilient structures in targeted locations (Fig. 11).

On walls and in rock crevices, the substrate is shielded from direct insolation and accompanying evaporative water loss by the stone as well as the plant itself, a natural protection which also represents an important goal for the project. Therefore, while photographing plants growing on walls in Kassel, we also measured the widths and heights of the recesses found at germination sites (generally small, without a lip above or below; Figg. 12, 13), performed statistical comparisons, and classified them by type in order to then translate them into structural parameters. Since it was not possible to compare the volumes of the recesses, a series of trials were conducted with concrete test pieces featuring different-sized recesses, fabricated using permanent formwork behind the concrete, plus reusable elastic form liners to replicate the aesthetic variety of vegetation in both punctiform and linear recesses (Fig. 14).

#### Acknowledgements

The contribution is the result of a common reflection of the Authors. However, the paragraph ‘Method 1: Material-engineering approach to cryptogam colonization’ paragraph should be attributed to R. Polster, the paragraph ‘Method 2: Phytotechnological approach to tracheophyte establishment’ to L. Büscher.

#### References

- Brandes, D. (2013), “Mauern als Lebensraum für Pflanzen”, in Siegesmund, S. and Sneath, R. (eds), *Naturstein in der Kulturlandschaft*, Mitteldeutscher Verlag, Halle (Saale), pp. 96-106. [Online] Available at: doi.org/10.24355/dbbs.084-201309121035-0 [Accessed 22 March 2022].
- Brandes, S. and Brandes, D. (2010), *Mauerflora in Dörfern des nördlichen Harzvorlandes (Sachsen-Anhalt) | Wall flora of villages in the northern foreland of the Harz mountains (Sachsen-Anhalt)*, Institut für Pflanzenbiologie, pp. 1-14. [Online] Available at: digibib.tu-bs.de/?docid=00032636 [Accessed 22 March 2022].
- Büscher, L. (2018), “Beton als vertikaler Lebensraum für Pflanzen – Vom gestalterischen Potenzial des Werkstoffs”, in *Stadt und Grün | Das Gartenamt*, issue 05, pp. 45-50.
- Deilami, K., Kamruzzaman, M. and Liu, Y. (2018), “Urban heat island effect – A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures”, in *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 67, pp. 30-42. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jag.2017.12.009 [Accessed 22 March 2022].
- Eppel, J. (2018), “Grüne Klimafassade – Utopie und Wirklichkeit”, *Neue Landschaft*, issue 11, pp. 31-36.
- FLL – Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (2018), *Fassadenbegrünungsrichtlinien – Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von Fassadenbegrünungen*, FLL, Bonn.
- Gausmann, P. and Rosin, R. (2014), “Flora und Vegetation der Mauern in den Stadtgebieten von Herne, Bochum, Hattingen und Witten (Ruhrgebiet, Nordrhein-Westfalen) unter besonderer Berücksichtigung der Farnpflanzen”, in *Veröffentlichungen des Bochumer Botanischen Vereins*, vol. 6, issue 3, pp. 13-33. [Online] Available at: botanik-bochum.de/publ/OVBBV6\_3\_Gausmann\_

**Conclusions** | The Botanical Concrete research has shown that functional structural concrete can support the establishment and the growth of both cryptogams and tracheophytes, made possible by the two adopted methodological approaches; however, in the long term, the effects generated by the various environmental factors on vegetation and the consistency and integrity of materials remain to be seen. Through the controlled incorporation of aggregates into the surface of the concrete, in conjunction with the construction of a three-dimensional microrelief, it was possible to create a bio-receptive surface for the establishment and cultivation of mosses, whereas by adding a secondary substrate made of recycled materials and with a specifically defined geometry to vapour-permeable concrete test pieces, we were able to create germination and growth sites for tracheophytes.

On the level of methodology, the interdisciplinary approach proved to be fundamental: the identification of shared objectives and priorities, together with the choice to collectively work out-

side traditional disciplinary combinations, has generated a new methodological, creative, scientific, and practice-oriented perspective on this field of research. The findings from our two approaches have raised follow-up questions for further research into expanding the water supply, varying the material form, refining the formwork, developing structural classifications, and gathering more detailed information on vegetation sites. A more in-depth comparison between the requirements of cryptogams and tracheophytes shall then be necessary, to correlate the findings and better identify specific synergies and divergences of the two approaches, also with the involvement of a meteorology expert to evaluate the microclimatic effects and the amount of CO<sub>2</sub> that can be absorbed by a vertical green envelope, in hope of improving local microclimates and architectural quality, make better use of impermeable surfaces, increase urban biodiversity, and create new biotopes.

Rosin\_Mauern.pdf [Accessed 22 March 2022].

Magistrat der Stadt Wien (2019), *Fassaden & Vertikalbegrünung – Internationale & nationale Best-Practice-Beispiele*. [Online] Available at: wien.gv.at/stadtentwicklung/studien/pdf/e000037.pdf [Accessed 22 March 2022].

Manso Blanco, S. (2014), *Bioreceptivity optimisation of concrete substratum to stimulate biological colonisation*, PhD thesis, Universitat Politècnica de Catalunya. [Online] Available at: researchgate.net/publication/262938554\_Bioreceptivity\_Optimisation\_of\_Concrete\_Substratum\_to\_Stimulate\_Biological\_Colonisation [Accessed 22 March 2022].

Manso, M., Teotónio, I., Silva, C. M. and Cruz, C. O. (2021), “Green roof and green wall benefits and costs – A review of the quantitative evidence”, in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 135, pp. 110-111. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.rser.2020.110111 [Accessed 22 March 2022].

McDonald, R. I. et alii, (2020), “Research gaps in knowledge of the impact of urban growth on biodiversity”, in *Nature Sustainability*, vol. 3, issue 1, pp. 16-24. [Online] Available at: doi.org/10.1038/s41893-019-0436-6 [Accessed 22 March 2022].

Ottel, M. (2011), *The green building envelope – Vertical greening*, PhD thesis, Technische Universiteit Delft. [Online] Available at: repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:1e38e393-ca5c-45af-a4fe-31496195b88d [Accessed 22 March 2022].

Polster, R., Büscher, L., Riehl, W. and Klussmann, H. (2020), “Botanical concrete – Novel composites for urban greening”, in Leopold, C., Robeller, C. and Weber, U. (eds), *Research culture in architecture – Cross-disciplinary collaboration*, Birkhäuser, Basel, pp. 265-274. [Online] Available at: doi.org/10.1515/9783035620238 [Accessed 22 March 2022].

Polster, R. and Klussmann, H. (2019), “Moos auf Beton – BryoCrete”, in *Beton Bauteile 2020 – Entwerfen Planen Ausführen*, Bauverlag, Gütersloh, pp. 196-202.

Respyre (n.d.), “Technology”, in *gorespyre.com*. [Online] Available at: gorespyre.com/our-technology/ [Accessed 22 March 2022].

Riley, B. (2017), “The state of the art of living walls – Lessons learned”, in *Building and Environment*, vol. 114, pp. 219-232. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.016 [Accessed 22 March 2022].

Riley, B., de Larrard, F., Malécot, V., Dubois-Brugger, I., Lequay, H. and Lecomte, G. (2019), “Living concrete

– Democratizing living walls”, in *Science of the Total Environment*, vol. 673, pp. 281-295. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.065 [Accessed 22 March 2022].

Statistisches Bundesamt (2016), “Indikator Flächenanspruchnahme – Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche”, in *Land- und Forstwirtschaft, Fischerei – Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung*, Fachserie 3 Reihe 5.1, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden. [Online] Available at: statistischebibliothek.de/mir/servlets/MCRFileNodeServlet/DEHeft\_derivate\_00029318/2030510157004.pdf [Accessed 22 March 2022].

Takano, T., Nakamura, K. and Watanabe, M. (2002), “Urban residential environments and senior citizens’ longevity in megacity areas – The importance of walkable green spaces”, in *Journal of Epidemiology Community Health*, vol. 56, pp. 913-918. [Online] Available at: doi.org/10.1136/jech.56.12.913 [Accessed 22 March 2022].

UCL (n.d.), “Building greener cities with poikilohydric living walls”, in *ucl.ac.uk*. [Online] Available at: ucl.ac.uk/bartlett/architecture/about-us/innovation-enterprise/building-greener-cities-poikilohydric-living-walls [Accessed 22 March 2022].

Veeger, M., Ottel, M. and Prieto, A. (2021), “Making bioreceptive concrete – Formulation and testing of bioreceptive concrete mixtures”, in *Journal of Building Engineering*, vol. 44, art. 102545, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.job.2021.102545 [Accessed 22 March 2022].

Veeger, M., Prieto, A. and Ottel, M. (2021), “Exploring the possibility of using bioreceptive concrete in building façades”, in *Journal of Facade Design and Engineering*, vol. 9, issue 1, pp. 73-86. [Online] Available at: doi.org/10.7480/jfde.2021.1.5527 [Accessed 22 March 2022].

Wong, N. H., Tan, C. L., Kolokotsa, D. D. and Takebayashi, H. (2021), “Greenery as a mitigation and adaptation strategy to urban heat”, in *Nature Reviews Earth & Environment*, vol. 2, issue 3, pp. 166-181. [Online] Available at: nature.com/articles/s43017-020-00129-5?proof=t%29 [Accessed 22 March 2022].

Ysebaert, T., Koch, K., Samson, R. and Denys, S. (2021), “Green walls for mitigating urban particulate matter pollution – A review”, in *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 59, art. 127014, pp. 1-13. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127014 [Accessed 22 March 2022].

**COLLABORAZIONE TRA NATURA E ARTIFICIO**Processi simbiotici tra  
scienze, arti e design**NATURAL AND ARTIFICIAL INTERACTION**Symbiotic processes between  
science, art and design

Federica Dal Falco, Rosanna Veneziano, Michela Carlomagno

## ABSTRACT

Il contributo si incentra sulle modalità con cui nella contemporanea visione del design, il concetto di 'vivente' riferito alla vegetazione, incide sulla cultura del progetto, che si è confrontata da sempre con il contesto ambientale, attraverso pratiche di imitazione delle logiche della natura, di interpretazione delle sue dinamiche evolutive, di trasformazione dei suoi elementi e, più recentemente, con attività che indagano la fragile relazione e la convivenza con l'uomo, in un'ottica di sensibilizzazione verso comportamenti consapevoli. L'interpretazione dei progetti metterà in evidenza le visioni del design contemporaneo sui legami tra mondo antropico, mondo vegetale e animale e indagherà gli scenari progettuali volti alla prefigurazione di mondi possibili. Le riflessioni critiche sono legate all'iniziativa interdisciplinare New European Bauhaus, che contempla nuove sinergie tra natura e cultura, inclusione sociale, scienza e tecnologia.

The contribution will focus on how the concept of 'living' in the contemporary vision of design, with regard to vegetation, influences design culture, a concept constantly faced with the environmental context through practices of imitation of the logic of natural world interpretation of its evolutionary dynamics, the transformation of its elements and, more recently, with activities that investigate the fragile relationship and coexistence with man, to raise awareness of conscious behaviour. The interpretation of the projects will highlight the visions of contemporary design on the links between the anthropic world and the plant and animal world and will investigate design scenarios aimed at prefiguring possible worlds. Critical reflections will connect to the interdisciplinary New European Bauhaus initiative, which contemplates new synergies between natural and cultural, social inclusion, science and technology.

## KEYWORDS

Antropocene, natura e artificio, New European Bauhaus, design speculativo, consapevolezza

Anthropocene, natural and the artificial, New European Bauhaus, speculative design, awareness

**Federica Dal Falco**, Architect and PhD, is an Associate Professor of Design at the Department of Planning, Design and Architecture Technology of 'Sapienza' University of Rome (Italy). She conducts research on the history of design, museum communication and design for public space. He is an Academic of the National Academy of Design (Russia) and a Guest Investigator at CIEBA (Portugal). E-mail: federica.dalfalco@uniroma1.it

**Rosanna Veneziano**, Architect and PhD, is an Associate Professor of Industrial Design at the Department of Architecture and Industrial Design at the 'Luigi Vanvitelli' University of Campania (Italy). Since 2002 she has been researching design-oriented strategies for local product development. E-mail: rosanna.veneziano@unicampania.it

**Michela Carlomagno**, Visual Designer and PhD Candidate in Environment, Design for Innovation at the 'Luigi Vanvitelli' University of Campania (Italy), conducts research on collaborative and transdisciplinary approaches to test new design visions. E-mail: michela.carlomagno@unicampania.it

Nell'era dell'Antropocene, conseguenza dell'impatto delle attività dell' homo sapiens sul pianeta, i processi di distruzione e riduzione delle risorse sono accelerati e caratterizzati dalla scomparsa di un gran numero di specie, dalla progressiva riduzione della disponibilità di combustibili fossili e dall'aumento delle emissioni di gas serra (Crutzen and Stoermer, 2000; Crutzen, 2002; Moore, 2017; Fig. 1). Quest'insieme complesso di cambiamenti dalle nefaste conseguenze si propaga nello spazio e nel tempo, in modo transnazionale e transgenerazionale e comporta una radicale riflessione sull'insieme delle regole, dalle scienze alla filosofia e all'arte, perseguite dal momento in cui si determinò la fine dell'Olocene (Lewis and Maslin, 2015; Lovelock, 1979). Maldonado (1990) ci ricorda che questo fenomeno è stato definito 'transference irreversibility' (Pearce, 1983) e significa che ogni generazione lascia alla successiva processi che sono sempre più dannosi e meno reversibili. Il testo di Maldonado esamina criticamente la molteplicità di approcci contrastanti che hanno delineato l'emergenza ambientale negli ultimi decenni, sottolineando come lo stile di vita dei Paesi altamente industrializzati ha sempre più esacerbato l'effetto serra e il buco dell'ozono. Il testo di Maldonado esamina criticamente la molteplicità di approcci contrastanti che hanno delineato l'emergenza ambientale negli ultimi decenni, sottolineando come lo stile di vita dei Paesi altamente industrializzati ha sempre più esacerbato l'effetto serra e il buco dell'ozono. Naturalmente, costringere la società industriale ad abbandonare un certo stile di vita sembra un obiettivo difficile da raggiungere.

Trischler (2016) sostiene che è innanzitutto necessario chiarire come il concetto di Antropocene, oltre alla geologia, sia sintesi di aspetti storici, geografici e culturali. In tal senso, la nuova era può essere considerata un 'dispositivo di conoscenza trasversale' in grado di stimolare collaborazioni tra le scienze, le humanities e la cultura del progetto, il cui compito coinvolge l'habitat e tutte le attività umane. A questo quadro si sommano i recenti conflitti che stanno ridisegnando la geopolitica mondiale con il rischio di un ritorno a tempi ancora più bui per l'umanità e per il pianeta nella sua dimensione integrata. L'Antropocene è quindi una svolta culturale e in qualche misura determina la fine del pensiero moderno e il tramonto dell'idea che la natura sia un sistema privo di valori, mero sfondo e fonte di risorse per l'agire umano (Pellegriano and Di Paola, 2018).

Ma la concezione del mondo quale organismo vivente non è una novità: risale al Timeo, il dialogo scritto da Platone (2016) nel 360 a.C. che ne descrive le doti di intelligenza e spiritualità, principi poi interpretati da James E. Lovelock (1979), con un unico sistema chiamato Gaia. I meccanismi equilibratori di Gaia, tecnicamente denominati 'omeostasi', generano quelle forze e controforze in grado di attenuare la mutevolezza derivante dalle oscillazioni dell'ambiente. Anche Lynn Margulis (2002) considera il pianeta un organismo vivente collettivo, capace di controllare l'atmosfera terrestre attraverso complessi meccanismi autoregolati che ne garantiscono la sopravvivenza e la circolarità dei processi, secondo l'antica idea di continua trasformazione e riciclo.

Nell'area delle discipline progettuali, e in particolare del design, una delle angolazioni attraverso

cui si può leggere il fenomeno in atto è l'evoluzione del rapporto tra natura e artificiale: una distinzione e relazione da sempre oggetto di studi e riflessioni che dai filosofi greci presocratici, è stata sviluppata nella seconda metà del secolo scorso accentuando l'approccio critico. Secondo Remo Bodei (2012), fin dall'antichità, l'uomo ha piegato e padroneggiato le risorse e forze della natura ai suoi scopi, creando attraverso le tecnologie un mondo artificiale, con protesi che amplificano le facoltà e la percezione del corpo, fino ad arrivare alle biotecnologie, in cui l'artificio diventa natura. Gillo Dorfles (1968) evidenzia come l'ambiguità dell'opera di trasformazione della natura sviluppata dall'uomo, se da un lato ha portato benefici all'umanità, dall'altro ha condotto a una violenta escalation del conflitto tra forme naturali e artificiali, fino ad arrivare alla falsificazione dell'ambiente, che non significa abdicare alla ricerca scientifica e tecnologica, ma sviluppare un nuovo pensiero.

La questione generale cui si riferisce la complessità delle nuove ricerche nei diversi campi del sapere, è quindi di necessità in relazione al mutevole, vasto e polimorfo concetto dell'Antropocene, un 'super-iper-oggetto' che incorpora una tale serie di livelli di cambiamento da rendere una sua analisi di estrema difficoltà, anche per la variabilità dei significati che dalla stessa umanità possono essere ad esso attribuiti (Zalasiewicz, 2021). Il fine è di immaginare soluzioni e nuovi dispositivi, avvalendosi di molteplici letture, nella convinzione che il tempo dei pensieri settoriali sia tramontato e il contemporaneo richieda, più che l'interdisciplinarietà, la 'interdipendenza' tra diversi campi del sapere, tra strumenti e linguaggi diversi (Caffo and Muzzonigro, 2018). Il riferimento alle teorie filosofiche e letterarie del trascendentalismo americano (Onfray, 2019; Thoreau, 2018) costituisce il fil rouge che lega le teorie filosofiche del postumano (Caffo, 2017) alla radicalità dei movimenti degli anni Sessanta del Novecento (Quinz, 2020), agli scritti di Victor Papanek (Papanek, 1985; Kries, Klein and Clarke, 2018), Yona Friedman (2016), Buckminster Fuller (2008) e al già citato Tomás Maldonado (1970, 1980, 1990), fondamenti per una revisione critica del design finalizzata al superamento della crisi attuale.

In questo contesto culturale, il contributo indaga sul rapporto tra natura e artificio inquadrando in un ambito problematico globale che investe la cultura del vivente, intendendo con questo la capacità relazionale e simbiotica dell'uomo con l'ambiente che è poi il fondamento sul quale si instaura ogni relazione (Fig. 2). Il contributo è strutturato in tre paragrafi attraverso: una selezione di teorie e sperimentazioni relative a processi di simbiosi tra sistema natura e design da cui emergono le criticità di determinati approcci; alcuni casi studio improntati alla collaborazione tra natura e artificiale a diverse scale progettuali (dall'urbanistica al design di prodotto) di cui sono identificati i parametri selettivi e dei quali è proposta una sistematizzazione critica in tre categorie (biologico-interpretativa, critico-esperienziale, ambientale-generativa); le riflessioni conclusive con gli sviluppi futuri e un'analisi critica delle relazioni tra gli approcci individuati e i nuovi percorsi nature-based solutions, con riferimento al New European Bauhaus. Tale visione olistica, multidisciplinare e multiscale che comprende molteplici tematiche, è da considerare come riferimento metodologico per pos-

sibili sviluppi coerenti con lo stato dell'arte introduttivo, con gli aspetti positivi e con i limiti individuati nelle teorie e sperimentazioni e nei casi studio, anche in termini di trasferibilità delle applicazioni negli ambiti della costruzione e del design.

Il carattere di originalità del saggio risiede nell'interpretazione del tema proposto attraverso diverse angolazioni, nella restituzione di un quadro complesso di ricerche non ancora consolidate e nella disamina critica di sperimentazioni che considerano la gravità delle conseguenze del presente antropocentrico rispetto al quale la cultura progettuale deve assumere il suo carico di responsabilità. Nell'integrare conoscenze di tipo storico, scientifico, filosofico, di arti e design, il contributo restituisce un avanzamento dello stato delle ricerche in materia, al fine di comprendere possibili relazioni e percorsi in un'ottica multiscale. La trattazione ha quindi come obiettivo la sistematizzazione di riflessioni critiche e riferimenti per la messa a punto di nuovi approcci della cultura progettuale, anche utilizzando trasferimenti metodologici che nel considerare prioritari i processi rispetto ai prodotti, può contribuire a delineare nuovi modelli resilienti e sostenibili a partire dagli obiettivi del New European Bauhaus, dove il design per la città è immaginato quale risultato delle sinergie tra arte, cultura, inclusione sociale, scienza e tecnologia.

#### **Collaborazione e simbiosi tra sistema natura e progetto: teorie e sperimentazioni nel design**

Le pratiche e le sperimentazioni riportate in seguito testimoniano il recente orientamento del design che supera l'aspetto formale o funzionale dell'oggetto per concentrarsi su quello speculativo, narrativo, evocativo che è in grado di definire nuove prospettive e visioni, attraverso una lettura del reale e del quotidiano (Petroni, 2020). A partire da una ricostruzione critica, che investiga le posizioni interpretative del rapporto tra uomo e natura, si intende osservare il design contemporaneo attraverso esperienze progettuali di designer e artisti.

La cultura del progetto si è confrontata da sempre con il contesto ambientale, attraverso pratiche di imitazione delle logiche della natura, di interpretazione delle sue dinamiche evolutive, di trasformazione dei suoi elementi e, più recentemente, con attività che indagano la fragile relazione e la convivenza con l'uomo, in un'ottica di sensibilizzazione verso comportamenti consapevoli. Le ricerche legate al binomio design/natura hanno condotto verso esplorazioni che integrano arte, design, tecnologia per dare forma all'interpretazione delle logiche e delle riflessioni critiche sulla natura, incidendo sulla cultura materiale, tecnologica e digitale del progetto. La dimensione organicista, che inizia a diffondersi negli anni '40 e che si identifica maggiormente nel design nord europeo, oggi percorre direzioni di ricerca fortemente condizionate da software e tecniche di realizzazione avanzata: biotecnologie, nanotecnologie, sistemi di intelligenza artificiale e sensoristica sono parte del progetto e amplificano prestazioni, caratteristiche e impatto degli artefatti.

Dalla mostra al MoMA dal titolo Organic Design in Home Furnishings del 1941, a cura di Elliot Noyes, il design organico – a cui sono stati associati oggetti che avessero struttura, materiale e funzione in perfetta armonia, proprio come in natura – si è consolidato nel panorama contemporaneo come 'integrazione di funzione, tecnologia, e

forma' attraverso ricerche e sperimentazioni non solo legate all'esplorazione di forme e strutture, ma anche delle strategie di ottimizzazione delle risorse (Antonelli, 2011). «[...] Così, la Natura è chiamata a partecipare al processo creativo, sperimentando la possibilità di sostituire i sistemi industriali con processi biologici ed estendendo l'equilibrio degli ecosistemi naturali al mondo artificiale» (Lucibello, 2019, p. 26). Il bio-design, l'hybrid design investigano il rapporto tra biologia e progetto, declinando l'osservazione a più scale, dal micro al macro, e applicando i principi di mimesi, quelli deduttivi e interpretativi in differenti ambiti progettuali. A partire dallo studio degli elementi naturali l'indagine riguarda logiche, elementi, caratteristiche, morfologie con l'intenzione di creare artefatti che somigliano sempre più a sistemi biologici. «[...] Strutture e oggetti che fanno parte di un universo tecno-biologico dove la materia artificiale prende vita, cresce, evolve e si trasforma; dove i sistemi sono in grado di auto-organizzarsi alla stregua di organismi viventi» (Langella, 2007, p. 12).

In questo contesto si assiste a molteplici interpretazioni della natura o delle nature definite nel testo di Lucibello e La Rocca (2015, p. 66) come «[...] 'nature plurali' ovvero più visioni della natura in cui si intrecciano o si alternano riferimenti arcaici e tradizione, innovazione sui materiali, temi ecologici, temi utopici e tecnologie avanzate, evidenziando la ricchezza dei livelli di lettura possibili». I differenti livelli di lettura hanno dato luogo a specifici filoni di ricerca che si integrano spesso con tecnologie avanzate e processi realizzativi parametrici, i quali, attraverso algoritmi di matrice biologica e sistemi di produzione additive manufacturing, consentono di replicare le logiche morfologico-accretive della natura e quelle di auto-generazione, auto-riparazione e autonomia dei sistemi biologici (Scodeller, Langella and Dal Buono, 2017). Nuove esperienze progettuali e di ricerca, capaci di integrare design e urbanistica ecologica, sono condotte da Elisa Cattaneo (2016, 2018) che definisce la Technonature come un 'concetto

sperimentale per qualificare un'idea non dicotomica della Natura come tecnologia, capace di formare uno spazio sperimentale tra arte e scienze'.

Da un lato la Natura è coinvolta nel processo progettuale per i suoi aspetti formali e imitativi, dall'altro le tecnologie digitali hanno alimentato la generazione di forme di intelligenza mutuate dagli oggetti, rendendoli autonomi, reattivi agli input come organismi viventi. Questa analogia biologica è stata fortemente orientata dalla lettura in chiave funzionalista della natura, ma le intenzioni concettuali, critiche e poetiche, emergono attraverso mostre, eventi, dibattiti con sempre maggiore impatto sulla collettività. «Branzi's interest is aimed at the extremely dialoguing nature of design with production and merchandising systems, which constitute the reality in which we are immersed: design is the medium between man and the complex socio-techno-economic system of our planet. Architecture is no longer the primary scene of life; it is indifferent to it, often the surplus. It is in 'industrial design' that man re-establish the ability to project himself into the world, to enter the point of tangency with the continuous evolution of technology as the fabric of everyday life» (Ranzo, 2018, p. 500).

La dimensione critica che utilizza il design come strumento di speculazione sensibile del progetto ha spostato l'attenzione dalla funzionalità e dell'estetica dell'oggetto al suo aspetto critico e relazionale, con lo scopo di generare riflessioni a partire dall'osservazione del reale (Dunne and Raby, 2013). L'intenzione è di creare una nuova consapevolezza del mondo che ci circonda, di indirizzare verso riflessioni su fenomeni sociali e politici contemporanei, sulla convivenza tra le specie e sull'attuale fragilità del sistema naturale e antropico, a partire dall'osservazione dei contesti di vita. Mostre come Broken nature Design Takes on Human Survival ideata e curata da Paola Antonelli sul tema del design ricostituente o come Unknown Unknowns – An Introduction to Mysteries, di Stefano Boeri su ciò che appare 'sconosciuto' dell'universo micro e macro, hanno l'obiettivo di stimo-

lare dibattiti, approfondimenti e un confronto aperto e plurale sugli argomenti proposti per riprogettare il futuro prossimo su basi nuove. I concetti di adattamento, convivenza, collaborazione, mimesi in una visione post-antropocentrica di convivenza pacifica tra le specie, emergono nelle opere di architetti, artisti e designer presenti nell'ultima Biennale Internazionale di Architettura, curata da Hashim Sarkis (Sommariva, 2021).

I recenti avvenimenti sociali economici ambientali hanno reso ancor più tangibile la precarietà del nostro abitare il pianeta, messo in discussione la supremazia della specie umana sulle altre e reso discutibile il dominio degli esseri umani sulle altre forme di vita, confermando che l'equilibrio degli ecosistemi che viviamo è fragile e labile e va preservato e rispettato. Azioni progettuali hanno quindi lo scopo di sensibilizzare, informare, costruire una visione critica e un punto di osservazione preferenziale dell'attuale fragilità della relazione tra il sistema naturale e quello antropico, indirizzando verso comportamenti consapevoli. Pertanto il progetto sui temi complessi, condotto con la contaminazione di molteplici competenze (Marzocca, 2014; Ramchandani, 2017), si concretizza in esperienze narrative che pongono gli osservatori/fruitori dinanzi a interrogativi e a riflessioni critiche. Il contributo del progetto è dunque quello di anticipare il futuro, attraverso la prefigurazione di mondi possibili in cui sviluppare visioni per intravedere strade alternative da percorrere per il pianeta e per tutti gli esseri viventi (Latour, 2000; Petroni, 2016).

Le tematiche connesse alla natura, all'ambiente e al pianeta, evidenziano come la dimensione del progetto affronta tale complessità considerando la salvaguardia della biodiversità, la riduzione dell'inquinamento nell'ecosistema, la mitigazione del cambiamento climatico, la gestione dei processi produttivi e il benessere della collettività. Il concetto maturo di sostenibilità ambientale, economica, etica e sociale rende possibile un processo di cambiamento della cultura del progetto ver-



Fig. 1 | Ancient cleared forest on Edinburgh's mountain near Port Renfrew, from the 2018 documentary Anthropocene – The Human Epoch.

Fig. 2 | The Architecture of Trees by Cesare Leonardi and Franca Stagi, 2018 (source: Leonardi and Stagi, 2018).



so strategie di azione che integrano la componente ambientale con quella simbolico-evocativa, includendo principi di equità nella disponibilità delle risorse, delle regole della democrazia e nel rispetto delle identità culturali. Pertanto, il progetto viene inteso come una 'call to action' (UN, 2015a, 2015b), nella sua accezione di impegno etico e sociale e come disciplina in grado di attuare una 'strategia di riparazione ben ponderata' (Antonelli and Tannir, 2019). Da manifesto di modernità i progetti di design sono diventati oggi un grido di allarme, riscontrabile nel lavoro di numerosi designer che pongono interrogativi, riflessioni e critiche dei modelli di vita ed osservano criticamente i legami con l'ambiente operando a più scale del progetto che integrano arte, design, scienza.

**Parametri di selezione ed esperienze progettuali** | Il coinvolgimento di antropologi, scienziati, ingegneri e artisti nel progetto ha permesso da un lato di trasferire competenze ed esperienze per affrontare tematiche complesse e dall'altro di rendere più fluidi i confini tra i diversi ambiti disciplinari. La multiscalarità e la multidisciplinarietà è definita come 'design across scales' (Oxman and Yoon, 2016), in cui le relazioni reciproche tra arte, design, scienza e tecnologia collaborano per sviluppare soluzioni replicabili e scalabili e il cui trade union è investigare il concetto di sostenibilità nelle sue quattro dimensioni: ambientale, economica, etica e sociale (Vezzoli et alii, 2022). Le esperienze selezionate nel presente contributo riguardano la scala urbana e ambientale, quella architettonica e del prodotto, sperimentazioni su nuovi materiali e artefatti comunicativi, che si distinguono da un lato per l'approccio strategico e realizzativo, legato alla sostenibilità ambientale, dall'altro per l'impatto sulla collettività, in termini di sensibilizzazione, crescita di consapevolezza e partecipazione.

La selezione e l'analisi dei casi studio riportati hanno lo scopo di delineare gli orientamenti del progetto contemporaneo legato alla relazione complessa tra natura e artificio, individuando strategie e approcci. Le caratteristiche ricorrenti dei progetti – tematiche, obiettivi, discipline coinvolte – ma anche i processi realizzativi, i materiali, le tecnologie e le funzionalità, sono state osservate a partire da tre categorie di osservazione: quella 'biologica-interpretativa', intesa come la capacità del progetto di interpretare e utilizzare modelli che imitano strutture, logiche e processi provenienti dalla natura per la realizzazione di nuovi materiali, oggetti e artefatti a diversa scala, ottimizzando le risorse, migliorando le capacità formali e funzionali e delineando nuovi scenari progettuali; quella 'critico-esperienziale', definita come la capacità del progetto di costruire narrazioni e generare nuove esperienze di fruizione che hanno l'obiettivo di sensibilizzare verso temi specifici, di far comprendere problematiche complesse dell'ambiente e di indirizzare verso comportamenti consapevoli, trasferendo informazioni e dati attraverso la costruzione di artefatti comunicativi e 'oggetti manifesto'; infine, quella 'ambientale-generativa', identificata come la capacità del progetto di preservare gli equilibri naturali uomo-natura e di salvaguardare l'uso delle risorse attraverso spazi, oggetti e materiali che crescono, si adattano e resistono a particolari condizioni ambientali.

I progetti collocati nella categoria biologica-interpretativa sono in grado non solo di osservare e



**Fig. 3** | Reformative Coral Habitats in Hong Kong, 2020 (credit: The University of Hong Kong, 2020).

imitare forme e processi della natura, ma di reinterpretarli nel processo creativo; ne sono un esempio i progetti di rigenerazione ambientale che sostituiscono e riparano parti danneggiate dell'ecosistema marino come Reformative Coral Habitats, sviluppato dal team dello Swire Institute of Marine Science della University of Hong Kong, in cui modelli biomimetici e processi di additive manufacturing vengono impiegati per realizzare elementi modulari che simulano le strutture e i comportamenti dei coralli naturali, ripristinando gli equilibri naturali della costa del Hoi Ha Wan Marine Park di Hong Kong (Fig. 3). Anche l'utilizzo di organismi come miceli, insetti, batteri permette di realizzare 'strutture multifunzionali', in cui la forma e la composizione materica viene definita attraverso l'interazione tra gli organismi viventi e le tecnologie digitali, dando vita a vere e proprie stampanti biologiche. In particolare, questa collaborazione è interpretata nel progetto Silk Pavilion ideato dal MIT Media Lab, un padiglione realizzato attraverso l'interazione tra una macchina a controllo numerico (CNC) guidata da un algoritmo e banchi da seta, capaci di tessere i filamenti sulla struttura stessa (Fig. 4). La materia vivente diventa sia 'materiale programmabile' (van Der Leest, 2016), plasmata attraverso metodi di design parametrico e generativo, che 'materiale organico' in grado di sfruttare le capacità strutturali e meccaniche della natura. Materiali vivi come le alghe sono, infatti, da anni impiegati in arredi e prodotti in grado di purificare l'aria, produrre ossigeno ed energia rinnovabile. È il caso della collezione Living Things, di Jacob Douenias e Ethan Frier, che utilizza le proprietà della spirulina per creare un ambiente simbiotico di vita con gli utilizzatori (Fig. 5).

I progetti collocati nella categoria critica-esperienziale sono in grado di stimolare riflessioni su temi emergenti e sui fenomeni contemporanei, informando e sensibilizzando la collettività; i casi selezionati integrano sensori, tecnologie e visualizzazioni complesse in esperienze multimediali che

coinvolgono attivamente gli utenti. Il lavoro di Irene Stracuzzi, On Melting Ground, trasferisce una serie di dati legati allo scioglimento dei ghiacciai dell'Artico, basando la narrazione sul concetto dell'invisibilità dei fenomeni ambientali e sull'urgenza di consolidare stili di vita e comportamenti sostenibili (Fig. 6). L'obiettivo è quello di generare una maggiore consapevolezza, mostrando come le azioni quotidiane incidono sullo stato di salute del pianeta. Con stesso orientamento l'installazione Symbiosis, realizzata per la Fondazione Cartier dalla collaborazione tra l'artista danese Thijs Bierstejer e lo scienziato Stefano Mancuso, ha lo scopo di rendere visibile l'impatto del contesto antropico sulla natura: attraverso sensori e display collocati sugli alberi, sono resi visibili fenomeni, come l'inquinamento o la siccità causata dall'aumento delle temperature, che incidono sulla crescita e lo stato di salute degli alberi (Figg. 7, 8). L'artefatto comunicativo diventa quindi mediatore tra l'ambiente naturale e il fruitore, rendendo accessibili le visualizzazioni dinamiche e la complessità dei dati.

Altri problemi ambientali trovano espressione in progetti intesi come 'manifesti di necessità' che influenzano comportamenti e stili di vita utili a preservare il futuro dell'ecosistema; la banca del germoplasma Svalbard Global Seed Vault, in Norvegia, dal 2008 si occupa di custodire semi di numerose specie di piante in via di estinzione per preservare la biodiversità delle colture del mondo e garantire la sopravvivenza in caso di catastrofe. Analoga strategia è adottata nel progetto Earth's Black Box, nato nel 2022 dalla collaborazione tra l'Università della Tasmania, la società di comunicazione Clemenger BBDO e il collettivo artistico Glue Society: si tratta di un monolite d'acciaio posizionato sulla costa occidentale della Tasmania, un dispositivo di archiviazione, che appare come un'installazione artistica, in grado di scaricare e registrare dati sul cambiamento climatico (Fig. 9); progettato per resistere a eventi catastrofici, ha l'obiettivo di trasferire alle generazioni future e alla



**Fig. 4** | Silk Pavilion designed by MIT Media Lab, 2012-18 (credit: Mediated Matter, 2013).

*Next page*

**Fig. 5** | Living Things designed by Jacob Douenias and Ethan Frier, Mattress Factory Museum, 2016 (source: ethanfrier.com/living-things, 2015).

**Fig. 6** | On Melting Ground designed by Irene Stracuzzi, Z33 House for Contemporary Art, Design & Architecture, Hasselt (credit: Liva Storytelling, 2021).

‘società post-apocalittica’ informazioni necessarie a comprendere le motivazioni che hanno condotto allo stato di irreversibilità dell’ecosistema.

Infine i progetti collocati nella categoria ambientale-generativa sono in grado di migliorare le prestazioni ambientali attraverso la definizione di soluzioni materiche, tecnologiche e di processo. La selezione riguarda progetti a scala paesaggistica, architettonica e abitativa in cui si sperimentano tecniche realizzative e materiali in grado di reagire e di adattarsi ai cambiamenti ambientali. Per salvaguardare la biodiversità, Avena + Test Bed – Agricultural Printing and Altered Landscapes sperimenta un processo di stampa che, attraverso l’uso di algoritmi e strumenti di fabbricazione digitale, ha l’obiettivo di aumentare l’efficienza agricola e contrastare l’agricoltura monoculturale per la produzione di biomasse (Figg. 10, 11). Il progetto Alive – A New Spatial Contract for Multi-Species Architecture utilizza la luffa per la definizione di un ambiente probiotico che mette in equilibrio uomo e microbi con l’obiettivo di migliorare la salute collettiva delle persone che abitano lo spazio (Figg. 12, 13). La necessità di far coesistere mondo animale e vegetale in nuovi spazi urbani e abitativi, definisce paesaggi alternativi come quelli modulari proposti dallo Studio Ossidiana: il progetto Platform for Human and Birds è pensato come modello multiscala che va dall’architettura, alle strategie urbane e di paesaggio, fino al design di arredi e oggetti, in cui vengono integrate le diverse specie viventi (Fig. 14).

Per la selezione, senza dubbio non esaustiva, delle esperienze progettuali sul binomio natura e artificio, si è scelto di attribuire i casi a specifiche categorie, osservandone prevalentemente gli obiettivi, le strategie attuate e i risultati formali. I casi selezionati sono espressione delle teorie, degli approcci e delle pratiche del bio-design, dell’hybrid design e del design speculativo individuate nel paragrafo precedente. L’obiettivo è quello di tracciare il complesso scenario su cui la cultura del progetto si sta orientando nell’ultimo decennio, definendo nuove aree di azione e trasferendo processi e tecniche di altri settori, come l’ingegneria e la biologia, al design. L’analisi mette in evidenza però alcuni limiti e criticità presenti nei progetti selezionati come la difficoltà di replicare alcune soluzioni progettuali che non superano la dimensione sperimentale e prototipale e la necessaria adattabilità

a diversi contesti di destinazione che possono modificare presupposti e caratteristiche. Infine, un ulteriore limite che emerge dalla collaborazione tra differenti discipline, nella fase di realizzazione del progetto, è quello legato al superamento del background culturale di provenienza degli attori coinvolti nel processo che talvolta possono riscontrare ostacoli linguistici, relazionali e gerarchici.

#### **Conclusioni e sviluppi futuri: il New European Bauhaus per un Design responsabile integrato con la natura**

Il recente cambio di paradigma che vede la collaborazione con il sistema natura e in particolare con la vegetazione quale elemento dirimente del nuovo approccio simbiotico, è sostenuto da scienziati e filosofi contemporanei, il cui pensiero costituisce un riferimento per un design globale e olistico basato sull’interdisciplinarietà tra arti e scienze, sulla contaminazione tra elementi viventi e intelligenza artificiale (Oxman, 2015). Innanzitutto, sono da evidenziare alcuni temi interconnessi che possono individuare nuovi percorsi e metodologie progettuali.

Il primo è quello derivante dalla teoria endosimbiotica formulata da Lynn Margulis nel 1967 (Sagan, 1967), che fa capire come la cooperazione delle piante governata dalle simbiosi, porti a risultati altrimenti irraggiungibili. Secondo Mancuso (2019), le piante sono maestre del ‘mutuo appoggio’ e ottengono il massimo dalla convivenza attraverso le relazioni vegetali. L’uomo è entrato in questa cooperazione con la domesticazione creando un meccanismo di reciproco vantaggio: i cereali hanno risolto molti problemi alimentari, e nello stesso tempo sono stati diffusi nel pianeta. Il secondo è relativo all’idea di una mescolanza universale, secondo cui essendo tutto in tutto, il mondo è relazione tra le cose, le piante sono il respiro dell’indiviso e la sua trasformazione non può che essere operata dai suoi stessi componenti (Cocchia, 2021). Un terzo tema è il postumano. Non si tratta del transumano bionico, ma di una nuova speciazione che riesce a sopravvivere in un ambiente ostile per le sue capacità cognitive e relazionali, in continuità ontologica con la natura e gli animali (Caffo, 2017). La capacità di adattamento del postumano al cospetto dell’Antropocene si colloca in uno schema integrato nella natura, basandosi su pochi mezzi, con una concezione della creatività, azione e forma passibili di confrontarsi

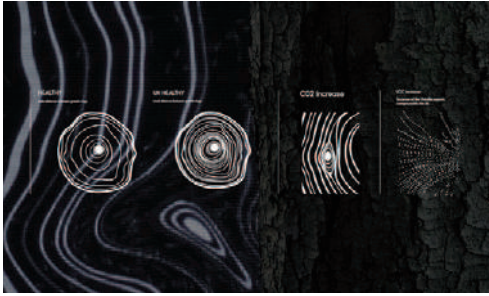
con la moltiplicazione degli scarti, al fine di costruire una nuova narrazione (Bourriaud, 2018; Dal Falco, 2018).

La collaborazione con le piante, la mescolanza e il postumano sono chiavi di lettura per un rinnovato rapporto con l’ambiente secondo un’ottica multiscale, il cui campo di applicazione considera prioritari i luoghi abbandonati, dalle aree più grandi agli spazi più piccoli (Clément, 2005). Tale approccio può essere assunto quale dispositivo trasversale atto a connettere conoscenze e pratiche per lo spazio pubblico, tema centrale per l’identità culturale e l’inclusione sociale delle città e componente strategica per attuare percorsi sostenibili e resilienti, coerentemente alla strategia europea del Green Deal (European Commission, 2019). Una politica culturale volta a trasformare i comportamenti umani con il duplice obiettivo di ridurre le emissioni di gas serra e di innalzare gli standard di vita creando nuove opportunità di lavoro (Boeri, 2021; Manzini, 2021). L’importanza e la necessità di un approccio globale e olistico alle questioni urbane contemporanee sono i principi che sottendono il New European Bauhaus (European Commission, 2021) l’iniziativa creativa e interdisciplinare in cui il progetto urbano è concepito quale risultato delle sinergie tra arte, design, cultura, inclusione sociale, scienza e tecnologia (Ness, 2021).

Con lo slogan ‘beautiful, sustainable, together’ il New European Bauhaus (NEB) propone di mettere a sistema proposte e idee progettuali in grado di configurare i riferimenti per un nuovo progetto culturale europeo, coerente con i principi di sostenibilità e resilienza. Molti tra i numerosi progetti pubblicati sul sito del NEB, pongono al centro della sperimentazione proprio lo spazio pubblico come una delle principali matrici delle città verdi, secondo un’accezione culturale che considera la stratificazione leggera e debole del design tra i campi più interessanti di intervento (Branzi, 2006). La città come luogo della coesistenza, dell’eterogeneità e della molteplicità di relazioni tra diverse forme di vita, comporta una riflessione sullo spazio urbano aperto a molteplici analisi, letture, interventi, con riferimento alle teorie di Umberto Eco (1962), immaginando un dialogo continuo, interdisciplinare e interscalare e anche un’estensibilità di ciò che è pubblico ai più disparati luoghi di incontro. Alla visione delle città quali organismi vivi il







**Fig. 7-8** | Symbiosia designed by Thijs Biersteker and Stefano Mancuso, Fondation Cartier pour l'Art Contemporaine in Paris, 2019 (source: thijsbiersteker.com/symbiosia, 2019).

design partecipa con le sue caratteristiche di flessibilità, secondo un'interpretazione porosa e trasformabile dei confini atti ad accogliere più concetti, relazioni, forme ibride e stili di vita.

I percorsi di ricerca tra arti, design e scienze che utilizzano il 'vivente', IoT, e soluzioni innovative per lo spazio pubblico, sono indicativi per un rinnovato confronto interdisciplinare. Questo campo di sperimentazione, i cui esempi sono limitati rispetto alle aree del design più consolidate, presentano un margine di ambiguità e contaminazione con le discipline progettuali liminari. La specificità è evidente nella metodologia di ricerca, che si colloca in uno spazio interstiziale, meno attenta ai riferimenti morfologici e storici e più concentrata sui processi e sull'approccio critico, su quella rigorosa responsabilità già propugnata da Buckminster Fuller (2008). Il design come scienza totale e anticipatoria richiede analisi rigorose, conoscenze approfondite, capacità di proiettare l'oggetto nel futuro della sua obsolescenza e offre strumenti per ridurre le separazioni e la lontananza tra gli oggetti e le risorse da cui derivano (Figg. 15-17). In tal senso, le ricerche di Formafantasma (Andrea Trimarchi e Simone Farresin), come il progetto Cambio esposto alla Serpentine Galleries di Londra, restituiscono una visione del design alla luce di un'indagine che comprende aspetti ecologici, sociali, politici e storici (Obrist, Lewin and Parrella 2021).

L'approccio olistico e simbiotico che sottende tale impostazione ha quindi come obiettivo prioritario un'assunzione di responsabilità che riconnette secondo metodiche processuali l'origine dello sfruttamento delle risorse al prodotto finale, attribuendo alla finitezza dell'oggetto lo stesso valore dell'iniziale ciclo di vita, in armonia con la complessità del pensiero metamorfico, espressione antica e contemporanea della massima economia circolare (Coccia, 2022). Secondo tale approccio e dai contenuti del contributo emergono elementi critici e di confronto che possono contribuire a delineare percorsi di ricerca innovativi in una futura prospettiva post-antropocenica:

– al cospetto del dibattito sull'Antropocene, assunto quale scenario ineludibile dell'attuale condizione ambientale, è necessario sviluppare un rinnovato dialogo collettivo sul significato del progetto basato sulla collaborazione tra ambiente e postumano, secondo uno schema integrato nella Natura, al fine di costruire narrazioni che prefigurino un arredo del mondo in termini ecologici (Caffo, 2017; Maldonado, 1990);

– rispetto alle teorie, sperimentazioni e casi studio esposti sono stati selezionati approcci e pratiche operanti nel segno di una sinergia tra saperi e una collaborazione interdisciplinare, con riflessioni critiche su processi progettuali e risultati orientati a prefigurare prodotti narrativi che sensibilizzano verso le tematiche ambientali e inducono comportamenti consapevoli;

– la nuova visione, che integra gli aspetti climatici alle questioni sociali coerentemente con gli obiettivi del New European Bauhaus, opera nel segno di un progetto culturale, creativo e artistico del futuro, secondo un rinnovato concetto di bellezza basato su valori quali l'inclusione sociale, l'accessibilità degli spazi, la sostenibilità come dialogo e costruzione di sinergie tra ambiente antropico e preservazione della biodiversità, l'arricchimento individuale e delle comunità improntato all'ascolto delle diversità. Il NEB rielabora il concetto di bellezza in una dimensione pluridimensionale, costruendo un nuovo paradigma e una nuova metodologia per rigenerare città e territori attraverso azioni combinate con la transizione ecologica e digitale. I nuovi percorsi inclusivi possono essere sviluppati non tanto in relazione alla fisicità del prodotto di memoria novecentesca, quanto secondo un approccio processuale del progetto, legato a molteplici interazioni disciplinari che considerano la questione ambientale al centro di teorie, metodologie e pratiche e lo spazio urbano quale 'opera aperta'.

In the Anthropocene era, a consequence of the impact of the activities of homo sapiens on the planet, the processes of destruction and reduction of resources are getting faster and involving the disappearance of a large number of species, the progressive decrease in the availability of fossil fuels and the increase in greenhouse gas emissions (Crutzen and Stoermer, 2000; Crutzen, 2002; Moore, 2017; Fig. 1). This complex set of changes with nefarious consequences spreads across space and time, transnationally and transgenerationally, and calls for a radical rethinking of the set of rules, from science to philosophy to art, pursued since the end of the Holocene was determined (Lewis and Maslin, 2015; Lovelock, 1979). Maldonado (1990) reminds us that this phenomenon has been termed 'transference irreversibility' (Pearce, 1983) and means that each generation leaves to the subsequent processes that are increasingly damaging and less reversible. The paper of Maldonado text critically examines the multiplicity of contrasting approaches that have outlined the environmental emergency in recent decades, pointing out how the lifestyle of highly overdeveloped countries has increasingly exacerbated the greenhouse effect and the hole in the ozone layer. Of course, forcing industrial society to abandon a specific lifestyle seems a challenging goal to achieve.

As Trischler (2016) argues, it is first necessary to clarify how the geological concept of the Anthropocene and the historical, geographical and cultural concepts are inextricably intertwined. As a result, one can be considered a 'transversal knowledge device' capable of stimulating collaborations between sciences, humanities and design culture, whose task involves the habitat and all human activities. Recent conflicts reshaping world geopolitics add to this picture with the risk of bringing back even darker times for humanity and the planet in its integrated dimension. Thus, the Anthropocene is a cultural turning point that, somehow, determines the end of modern thinking and the decline of the idea that the natural world is a system without values, a mere background and source of resources for human action (Pellegrino and Di Paola, 2018).

But the conception of the world as a living organism is not new: it dates back to around 360 BC in Timaeus of Plato (2016), which describes its qualities of intelligence and spirituality concept interpreted by James E. Lovelock (1979) as a single system called Gaia. The balancing mechanisms of Gaia, technically called 'homeostasis', generate those forces and counter-forces that can mitigate the mutability resulting from fluctuations in the environment. Lynn Margulis (2002) also considers the planet a collective living organism capable of controlling the atmosphere of the Earth through complex self-regulating mechanisms that guarantee the survival and circularity of processes, following the old concept of constant transformation and recycling.

In the project subjects, especially design, one perspective through which we can read the current phenomenon is the evolution of the relationship between natural and artificial. A distinction and a relationship that has always been the subject of study and reflection, starting with the pre-Socratic Greek philosophers, has developed in the second half of the last century, accentuating the critical approach. According to Remo Bodei (2012), since ancient times, man has bent and controlled the resources and forces from the natural world to his ends, creating through technologies an artificial world with prostheses that amplify body faculties and perception up to biotechnology, in which artifice becomes part of natural. Gillo Dorfles (1968) points out how the ambiguity of the work of transforming natural conditions developed by man has brought benefits to humanity and has also led to an escalation of the conflict between natural and artificial forms, to the point of falsification of the environment. That does not mean abdicating scientific and technological research but developing new thinking.

The general question to which the complexity of the new research in the various fields of knowledge refers is therefore of necessity about the changing, vast and polymorphous concept of the Anthropocene, a 'super-hyper-object' that incorporates such a range of levels of change as to make its analysis extremely difficult, not least because of the variability of the meanings that can be attributed to it by humanity itself (Zalasiewicz, 2021). The aim is to imagine solutions and new devices, making use of multiple readings, in the belief that the time of sectorial thoughts has passed and the contemporary requires, more than interdisciplinarity, the 'interdependence' between different fields

of knowledge, between various tools and languages (Caffo and Muzzonigro, 2018). The reference to the philosophical and literary theories of American transcendentalism (Onfray, 2019; Thoreau, 2018) constitutes the fil rouge that links the philosophical views of the posthuman (Caffo, 2017) to the radicality of the movements of the 1960s (Quinz, 2020), to the writings of Victor Papanek (Papanek, 1985; Kries, Klein and Clarke, 2018), Yona Friedman (2016), Buckminster Fuller (2008) and the above-cited Tomás Maldonado (1970, 1980, 1990), foundations for a critical revision of design aimed at overcoming the current crisis.

In this cultural context, the contribution investigates the relationship between natural and artificial, framing it within a global problem framework that invests in the culture of the living, meaning by this the relational and symbiotic capacity of the human being with the environment, which is then the foundation from which every relationship stems (Fig. 2). The three-paragraph paper presents a selection of theories and experiments related to the symbiosis processes between the nature and design system, from which the critical aspects of some approaches emerge; several case studies based on the collaboration between natural and artificial at different design scales (from urbanism to product design), identifying the selective parameters and proposing a systematic critique in three categories (biological-interpretive, critical-experiential, environmental-generative); concluding reflections with future developments and a critical analysis of the relationships between the identified approaches and new nature-based solutions, concerning the New European Bauhaus. This holistic, multi-disciplinary and multiscale vision, which embraces different themes, is to be considered a methodological reference for possible developments consistent with the introduction state of the art, with the positive aspects and with the limits identified in the theories and case studies, also in terms of transferability of applications in the fields of construction and design.

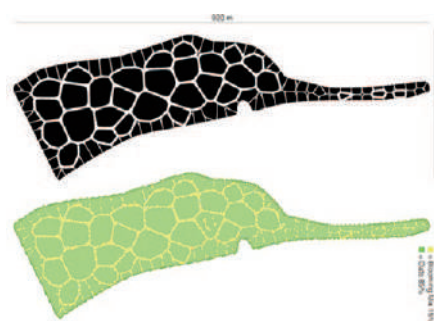
One of the most original features of the essay lies in the interpretation of the theme proposed from different perspectives, in the rendering of a complex and still unconsolidated research framework and in its critical examination of experiments that consider the seriousness of the consequences of the anthropocentric present, towards which design culture must assume its burden of responsibility. By integrating historical, scientific, philosophical, artistic and design knowledge, the paper provides the state of the art of research on the topic to understand the relationships and possible paths from a multiscale perspective. The discussion thus aims to settle critical reflections and references for the development of new approaches to design culture, also through methodological transfers that, by privileging processes over products, can contribute to outlining new resilient and sustainable models starting from the objectives of the New European Bauhaus, where design for the city is the result of synergies between art, culture, social inclusion, science and technology.

**Cooperation and symbiosis between natural system and project: theories and experiments in design** | The practices and experiments reported below testify to a recent design orientation that goes beyond the formal or functional aspect of the

object to focus on the speculative, narrative, evocative approach that can define new perspectives and visions through a reading of the real and every day (Petroni, 2020). Starting from a critical reconstruction, which investigates the interpretative positions of the relationship between man and nature, the intention is to observe contemporary de-

sign through the design experiences of designers and artists.

Since the beginning, design culture has been working with the environmental contest through practices of imitation of the logic of nature, interpretation of its evolutionary dynamics, a transformation of its elements and, more recently, activi-



**Fig. 9** | Earth's Black Box designed by University of Tasmania, Clemenger BBDO and Glue Society, Tasmania, 2022 (source: earthsblackbox.com, 2022).

**Figg. 10, 11** | Avena + Test Bed – Agricultural Printing and Altered Landscapes designed by Benedikt Groß Unterwaldhausen, Germany, 2013 (source: benedikt-gross.de, 2013).

ties investigating the fragile relationship and coexistence with man, to raise awareness of conscious behaviour. Research linked to the design/nature binomial has led to explorations involving art, design and technology to interpret the logic and critical reflections regarding the natural world, influencing material, technological and digital design culture. The organicist dimension, which began to spread in the 1940s and was mainly identifiable in northern European design, now runs along with research directions strongly influenced by software and advanced manufacturing techniques. Biotechnology, nanotechnology, artificial intelligence systems and sensors are part of the design to amplify performance artefact characteristics and impact.

Starting with the 1941 MoMA exhibition *Organic Design in Home Furnishings*, curated by Elliot Noyes, organic design – associating objects with structure, material and function in perfect harmony, just like in nature – has been consolidated in the contemporary scene as an ‘integration of function, technology and form’ through research and experimentation not only related to the exploration of form and structure, but also of strategies of resource efficiency (Antonelli, 2011). Thus, nature is

called upon to participate in the creative process, experimenting with the possibility of replacing industrial systems with biological processes and extending the balance of natural ecosystems to the artificial world (Lucibello, 2019). Bio-design and hybrid design investigate the relationship between biology and design, declining observation at multiple scales, from micro to macro, and applying the principles of mimesis, deductive and interpretative ones in different design fields. From the study of natural elements, the investigation concerns logic, features, characteristics and morphologies intending to create artefacts that increasingly resemble biological systems. Structures and objects are part of a techno-biological universe where artificial matter comes to life, grows, evolves and transforms and is self-arranged in the same way as living organisms (Langella, 2007).

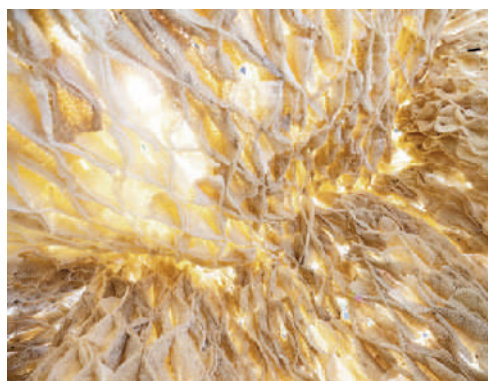
Here we see multiple interpretations as to nature or natures defined by Lucibello and La Rocca (2015) as ‘plural natures’ that is, several visions of being a nature in which archaic references and tradition, innovation on materials, ecological themes, utopian themes and advanced technologies intertwine or alternate, highlighting the wealth of pos-

sible reading levels. The different levels of interpretation have given rise to specific strands of research often combined with advanced technologies and parametric manufacturing processes, which, through biological matrix algorithms and additive manufacturing systems, make it possible to replicate the morphological and growth logic of the natural world and those of self-generation, self-repair and autonomy of biological systems (Scodeller, Langella and Dal Buono, 2017). Elisa Cattaneo (2016, 2018) leads the new project and research experiences, capable of integrating design and ecological urbanism, defining Technonature as an ‘experimental concept to qualify a non-dichotomous idea of Nature as technology, capable of forming an experimental space between art and science’.

Nature is involved in the design process for its formal and imitative aspects on the one hand, while digital technologies have fuelled the generation of forms of intelligence borrowed from objects, making them independent and reactive to inputs like living organisms. Although the biological analogy gets influenced by a functionalist reading of nature, conceptual, critical and poetic intentions are evident in exhibitions, events and debates with an increasing impact on the community. «Branzi’s interest is aimed at the extremely dialoguing nature of design with production and merchandising systems, which constitute the reality in which we are immersed: design is the medium between man and the complex socio-techno-economic system of our planet. Architecture is no longer the primary scene of life; it is indifferent to it, often the surplus. It is in ‘industrial design’ that man re-establish the ability to project himself into the world, to enter the point of tangency with the continuous evolution of technology as the fabric of everyday life» (Ranzo, 2018, p. 500).

The critical dimension that uses design as a tool for sensitive speculation has shifted the focus from the functionality and aesthetics of the object to its relational and crucial aspect, intending to generate reflections from the observation of reality (Dunne and Raby, 2013). The intention is to create a new awareness of the world around us to direct us towards reflections on contemporary social and political phenomena, the coexistence of species, and the current fragility of the natural and anthropic system, starting from observing living contexts. Paola Antonelli conceives and curates exhibitions such as *Broken nature Design Takes on Human Survival* on the theme of restorative design or *Unknown Unknowns – An Introduction to Mysteries*, by Stefano Boeri on what appears to be ‘unknown’ in the micro and macro universe, to stimulate debates, in-depth studies and an open, plural discussion on the topics proposed to redesign the near future on new bases. The concepts of adaptation, coexistence, collaboration and mimesis in a post-anthropocentric vision of peaceful coexistence between species emerge in the works of architects, artists and designers at the latest International Architecture Biennial, curated by Hashim Sarkis (Sommariva, 2021).

Recent social, economic and environmental events have made the precariousness of our inhabitation of the planet even more tangible, questioning the supremacy of the human species over others and making the dominance of human beings over other forms of life questionable, confirm-



**Figg. 12, 13** | *Alive – A New Spatial Contract for Multi-Species Architecture* designed by David Benjamin of The Living New York, La Biennale di Architettura in Venezia, 2021 (credit: La Biennale di Venezia, 2021).



Fig. 14 | Platform for Human and Birds designed by Studio Ossidiana, La Biennale di Architettura in Venezia, 2021 (source: studio-ossidiana.com, 2021).

ing that the balance of the ecosystems we live in is fragile and labile and must be preserved and respected. Project actions, therefore, aim to raise awareness, inform, and build a critical view and a preferential observation point of the current fragility of the relationship between the natural and anthropic systems, directing toward conscious behaviour. Therefore, the project on complex issues, conducted with the contamination of multiple competencies (Marzocca, 2014; Ramchandani, 2017), takes the form of narrative experiences that put the observers/users in front of questions and critical reflections. The project aims to anticipate the future by foreshadowing possible worlds to develop visions of alternative ways for the planet and all living beings (Latour, 2000; Petroni, 2016).

Nature, environment and plant-related issues highlight how the project dimension addresses this complexity by considering the preservation of biodiversity, pollution reduction in the ecosystem, climate change mitigation, management of production processes and community well-being. The mature concept of environmental, economic, ethical and social sustainability makes possible a process of change in the culture of the project towards strategies of action that integrate the environment component with the symbolic-evocative one, including principles of equity in the availability of resources, the rules of democracy, respect for cultural identities. Therefore, the project itself is a 'call

to action' (UN, 2015a, 2015b) in its meaning of ethical and social commitment and as a discipline capable of implementing a 'well-considered repair strategy' (Antonelli and Tannir, 2019). From being a manifesto of modernity, design projects have now become a cry of alarm, to be found in the work of numerous designers who pose questions and reflections of life patterns and critically observe the links with the environment by operating at multiple scales of design that integrate art, design, science.

#### Selection parameters and design experience |

With the involvement of anthropologists, scientists, engineers and artists in the project, it was possible to transfer skills and experiences to address complex issues on the one hand and to blur the boundaries between different disciplinary fields on the other. One definition of multiscale and multidisciplinary is 'design across scales' (Oxman and Yoon, 2016), in which the mutual relationships between art, design, science and technology collaborate to develop replicable and scalable solutions and whose trade union is to investigate the concept of sustainability in its four dimensions: environmental, economic, ethical and social (Vezzoli et alii, 2022). The selected experiences in this paper concern the urban environment, the architectural and product scale, experiments on new materials and communicative artefacts, which stand out on the one hand for their strategic and implementa-

tion approach, linked to environmental sustainability, and on the other hand for their impact on the community, in terms of awareness, growth of awareness and participation.

The selection and analysis of the case studies reported aiming to trace contemporary design trends related to the complex relationship between the natural and the artificial, identifying strategies and approaches. The recurring characteristics of the projects – themes, objectives, disciplines involved – as well as the construction processes, materials, technologies and functionalities have been observed from three categories the 'biological-interpretative' one, understood as the ability of the project to interpret and use models that imitate structures, logics and processes from nature to create new materials, objects and artefacts at different scales, maximising resources, improving formal and functional capacities and outlining new design scenarios; the 'critical-experiential' one, defined as the ability of the project to build narratives and generate new experiences of use that aim to raise awareness of specific issues, to make people understand complex environmental problems and to direct them towards conscious behaviour, transferring information and data through the construction of communicative artefacts and 'manifest objects'; finally, the 'environmental-generative' category, identified as the capacity of the project to preserve the natural balance between man and na-

ture and to safeguard the use of resources through spaces, objects and materials that grow, adapt and resist to particular environmental conditions.

Projects in the biological-interpretative category observe and imitate natural forms and processes and reinterpret them in the creative process. One example is environmental regeneration projects that replace and repair damaged parts of the marine ecosystem (such as Reformative Coral Habitats) by the Swire Institute of Marine Science team at the University of Hong Kong. The project uses biomimetic models and additive manufacturing processes to create modular elements that simulate the structures and behaviour of natural

corals, restoring the natural balance of the coastline of the Hoi Ha Wan Marine Park in Hong Kong (Fig. 3). The use of organisms (such as mycelia, insects and bacteria) also makes it possible to create 'multifunctional structures', where the shape and material composition is defined through the interaction between living organisms and digital technologies, giving rise to real biological printers. In particular, this collaboration finds an expression in the Silk Pavilion project conceived by the MIT Media Lab, a pavilion created through the interaction between a numerical control machine (CNC) guided by an algorithm and silkworms, capable of weaving filaments on the structure itself (Fig. 4). Liv-

ing matter becomes both 'programmable material' (van Der Leest, 2016), shaped through parametric and generative design methods, and 'organic material' capable of exploiting the structures of nature and mechanical capabilities. Living materials such as algae have, in fact, been in use for many years in furniture and products that can purify the air and produce oxygen and renewable energy. Such is the case of the Living Things collection by Jacob Douenias and Ethan Frier, which uses the properties of spirulina to create a symbiotic living environment with its users (Fig. 5).

The projects placed in the critical-experiential category can stimulate reflection on emerging themes and contemporary phenomena, informing and raising awareness in the community. The selected cases integrate complex sensors, technologies and views into multimedia experiences that actively involve users. The work of Irene Stracuzzi, *On Melting Ground*, transfers a series of data related to the melting of the Arctic glaciers, basing the narrative on the concept of the invisibility of environmental phenomena and the urgency to consolidate lifestyles and sustainable behaviour (Fig. 6). The aim is to generate awareness by showing how everyday actions may impact global well-being. In the same direction, the *Symbiosia* installation, created for the Foundation Cartier by Danish artist Thijs Bierstejer and scientist Stefano Mancuso, aims to make the impact of the human context on nature visible. Through sensors and displays on the trees, a phenomenon such as pollution or droughts caused by rising temperatures is visible, affecting the growth and health of the trees (Figs. 7, 8). The communicative artefact thus becomes a mediator between the natural environment and the user, making dynamic displays and complex data accessible.

Other environmental problems find expression in projects understood as 'manifestos of necessity' that influence behaviour and lifestyles to preserve a future ecosystem. The Svalbard Global Seed Vault germplasm bank in Norway has been storing seeds of numerous endangered plants since 2008 to safeguard the biodiversity of world crops and ensure survival in the event of a disaster. A similar strategy applies in the Earth's Black Box project, born in 2022 from the collaboration between the University of Tasmania, the communications company Clemenger BBDO and the art collective Glue Society: a steel monolith positioned on the west coast of Tasmania, a storage device, which appears as an art installation, capable of downloading and recording data on climate change (Fig. 9); designed to withstand catastrophic events, it aims to transfer to future generations and the 'post-apocalyptic society' information necessary to understand the reasons that led to the irreversible state of the ecosystem.



**Fig. 15** | *Cambio* designed by Formafantasma, Installation view, Serpentine Galleries, 2020 (credit: G. Darrell, 2020).

**Fig. 16** | Formafantasma, stills from *Cambio: Visual Essay*, 2020. Green screen in Bosco del Chignolo, Montemerlo, Italy (courtesy of Formafantasma; credit: C41, 2020).

*Next page*

**Fig. 17** | Formafantasma, stills from *Quercus*, 2020 (courtesy of Formafantasma, 2020).

Finally, the projects placed in the environmental-generative category can improve environmental performance by defining material, technological and process solutions. The selection concerns projects on a landscape, architectural and residential scale, experimenting with construction techniques and materials capable of reacting and adapting to environmental changes. To safeguard biodiversity, Avena + Test Bed – Agricultural Printing and Altered Landscapes experiments with a printing process that, using algorithms and digital fabrication tools, aims to increase agricultural efficiency and combat monocultural agriculture for the production of biomass (Fig. 10, 11). The project Alive – A New Spatial Contract for Multi-Species Architecture uses luffa to define a probiotic environment that balances humans and microbes to improve the collective health of the people who inhabit the space (Fig. 12, 13). The need to make the animal and plant worlds coexist in new urban and residential areas defines alternative landscapes such as the modular ones proposed by Studio Ossidiana: the Platform for Human and Birds project is conceived as a multiscale model ranging from architecture, to urban and landscape strategies, to furniture and object design, in which the different living species are integrated (Fig. 14).

For the selection, which is undoubtedly not exhaustive, of design experiences on the binomial nature and artifice, we have chosen to attribute the causes to specific categories, mainly observing their objectives, the strategies implemented and the formal results. The selected cases reflect the theories, approaches and practices of bio-design, hybrid design and speculative design identified in the previous paragraph. The aim is to outline the complex scenario in which design culture has been orienting itself over the last decade, defining new areas of action and transferring processes and techniques from other sectors, such as engineering and biology, to design. However, the analysis highlights some limits and criticalities present in the selected projects, such as the difficulty of replicating some design solutions that do not go beyond the experimental and prototype dimension and the necessary adaptability to different destination contexts that may change assumptions and characteristics. Finally, a further limitation that emerges from multi-disciplinary collaboration in the project implementation phase is due to the need to overcome the cultural backgrounds of those involved in the process who may sometimes encounter linguistic, relational and hierarchical obstacles.

**Conclusions and future developments: the New European Bauhaus for responsible design integrating nature** | The recent paradigm shift that sees collaboration with the natural system, and in particular with vegetation, as a diriment element of the new symbiotic approach comes under the support of contemporary scientists and philosophers, whose thought constitutes a reference for a global and holistic design based on the interdisciplinarity between arts and sciences, on the contamination between living elements and artificial intelligence (Oxman, 2015). First, some interconnected themes can identify new paths and design methodologies.

The first is the one deriving from the endosymbiotic theory formulated by Lynn Margulis in 1967



(Sagan, 1967), which helps us understand how to plant cooperation works through symbiosis, leading to otherwise unattainable results. According to Mancuso (2019), plants are masters of 'mutual assistance' and get the most out of living together through plant relationships. Humans have entered into this cooperation through domestication, creating a mechanism of mutual benefit: cereals have solved many alimentary problems and spread in all the planet. The second relates to the idea of a universal mixture, according to which, being everything is in the whole, the world is a relationship between things, plants are the breath of the undivided, and its transformation can only occur by its components (Coccia, 2021). A third theme is the posthuman. It is not the bionic transhuman but new speciation that can survive in a hostile environment thanks to its cognitive and relational abilities, in ontological continuity with nature and animals (Caffo, 2017). The adaptive capacity of the posthuman in the face of the Anthropocene lies inside a scheme integrated with nature, relying on few means, with a conception of creativity, action and form susceptible to deal with the multiplication of waste to build a new narrative (Bourriaud, 2018; Dal Falco, 2018).

The cooperation with plants, mixing, and the posthuman are the keys to a renewed relationship with the environment following a multi-scalar perspective, which prioritises abandoned places, from the largest to the smallest spaces (Clément, 2005). Such an approach can be taken as a transversal device to connect knowledge and practices for public space, a central issue for cultural identity and social inclusion of cities and a strategic component to implement sustainable and resilient pathways in line with the European Green Deal strategy (European Commission, 2019). A cultural policy aimed at transforming human behaviour with the dual objective of reducing greenhouse gas emissions and raising living standards by creating new job opportunities (Boeri, 2021; Manzini, 2021). The importance and necessity of a global and holistic approach to contemporary urban issues are the principles underlying the New European Bauhaus (European Commission, 2021), the creative and interdisciplinary initiative in which urban design sees itself as the result of synergies between art, design, culture, social inclusion, science and technology (Ness, 2021).

The New European Bauhaus (NEB), whose slogan is 'beautiful, sustainable, together', aims to put together proposals and design ideas capable of configuring the references for a new European cultural project, consistent with sustainability and resilience principles. Many of the numerous pro-

jects published on the NEB website place public space at the centre of experimentation as one of the main matrices of green cities, according to a cultural understanding that considers the light and weak stratification of design among the most appealing fields of intervention (Branzi, 2006). The city as a place of coexistence, heterogeneity and multiplicity of relationships between different forms of life, therefore involves a reflection on urban space open to multiple analyses, readings, interventions about the theories of Umberto Eco (1962), imagining a continuous dialogue, interdisciplinary and intercalar and also extensibility of what is public to the most disparate meeting places. In the vision of cities as living organisms, design participates with its characteristics of flexibility according to a porous and transformable interpretation of the boundaries capable of accommodating multiple concepts, relationships, hybrid forms and lifestyles.

The research paths between arts, design and sciences using the 'living', IoT, and innovative solutions for public space, indicate a renewed interdisciplinary confrontation. This field of experimentation, whose examples are limited compared to the more established areas of design, presents a margin of ambiguity and contamination with liminal design disciplines. The specificity is evident in the research methodology, which sits in the interstitial space, less attentive to morphological and historical references and more focused on processes and critical approach, on that rigorous responsibility already advocated by Buckminster Fuller (2008). Design as a total and anticipatory science requires careful analysis, in-depth knowledge, the ability to project the object into the future of its obsolescence, and offers tools to reduce the separations and distance between objects and the resources from which they derive (Figg. 15-17). In this sense, the research of Formafantasma (Andrea Trimarchi and Simone Farresin), such as the Cambio project exhibited at the Serpentine Galleries in London, returns a vision of design in the light of an investigation that includes ecological, social, political and historical aspects (Obirst, Lewin and Parrilla 2021).

The holistic and symbiotic approach that underlies this concept, therefore, has as its primary objective an assumption of responsibility that reconnects the origin of the exploitation of resources to the final product according to process methods, attributing the same value to the finitude of the object as to the initial life cycle, in harmony with the complexity of metamorphic thinking, an ancient and contemporary expression of the maximum circular economy (Coccia, 2022). According to this approach and from the contents of the contribution,

critical and comparative elements emerge that can contribute to outlining innovative research paths in a future post-Anthropocene perspective:

- in the face of the debate on the Anthropocene, assumed as an inescapable scenario of the current environmental condition, it is necessary to develop a renewed collective dialogue on the meaning of the project based on the collaboration between the environment and the posthuman, according to a scheme integrated to nature to build narratives that prefigure a furnishing of the world in ecological terms (Caffo, 2017; Maldonado, 1990);
- concerning the theories, experiments and case studies on display, approaches and practices were selected that operate in the name of synergy between knowledge and interdisciplinary collaboration, with critical reflections on design processes and results-oriented toward prefiguring narrative products that raise awareness of environmental issues and induce conscious behaviour;
- a new vision combining climatic and social aspects is in line with the objectives of the New European Bauhaus, working towards a cultural, creative and artistic project for the future based on a renewed concept of beauty with values such as social inclusion, accessibility of spaces, sustainability as a dialogue and construction of synergies between the anthropic environment and the conservation of biodiversity, and individual and community enrichment based on listening to diversity. The NEB reworks the concept of beauty in a multidimensional dimension, building a new paradigm and a new methodology to regenerate cities and territories through actions combined with the ecological and digital transition. The new inclusive paths can be developed not so much concerning the physicality of the product of twentieth-century memory, but according to a processual approach of the project, linked to multiple disciplinary interactions that consider the environmental issue at the centre of theories, methodologies and practices and the urban space as an 'open work'.

## Acknowledgements

The contribution is the result of a mutual reflection of the Authors. Nevertheless, the introductory paragraphs and 'Conclusions and future developments: the New European Bauhaus for a responsible design integrated with nature' are to be attributed to F. Dal Falco, the paragraph 'Collaboration and symbiosis between the natural system and the project: theories and experiments in design' to R. Veneziano and the paragraph 'Selection parameters and design experiences' to M. Carlomagno.

## References

- Antonelli, P. (2011), "States of Design 05 – Organic Design", in *Domus web*, 03/10/2011. [Online] Available at: [domusweb.it/en/design/2011/10/03/states-of-design-05-organic-design.html](http://domusweb.it/en/design/2011/10/03/states-of-design-05-organic-design.html) [Accessed 2 January 2022].
- Antonelli, P. and Tannir, A. (2019), *Broken Nature – Design Takes on Human Survival*, XXII Triennale di Milano, Mondadori Electa, Milano.
- Bodei, R. (2012), *Natura e artificio*, Consorzio Festival filosofia, Modena.

- Boeri, S. (2021), *Urbania*, Laterza, Roma-Bari.
- Bourriaud, N. (2018), *L'Exforme – Art, idéologie et rejet*, PUF, Paris.
- Branzi, A. (2006), *Modernità debole e diffusa – Il mondo del progetto all'inizio del XXI secolo*, Skira, Milano.
- Caffo, L. (2017), *Fragile umanità – Il postumano contemporaneo*, Einaudi, Torino.
- Caffo, L. and Muzzonigro, A. (2018), *Costruire futuri – Migrazioni, città, immaginazioni*, Bompiani, Firenze.
- Cattaneo, C. E. (2018), *Sensorial Landscape – Natural pattern / Ecological taxonomy*, Maggioli, Milano.

- Cattaneo, C. E. (2016), *Nature Through the Mirror – Technonatural Experiments*, Maggioli Edizioni, Milano.
- Clément, G. (2004), *Manifeste du Tiers-paysage*, Su-jet/Objet, Paris.
- Coccia, E. (2021), *La vita delle piante – Metafisica della mescolanza*, Il Mulino, Bologna.
- Coccia, E. (2022), *Metamorfosi – Siamo un'unica, sola vita*, Einaudi editore, Torino.
- Crutzen, P. J. (2002), “Geology of Mankind”, in *Nature*, vol. 415, issue 51, p. 23. [Online] Available at: doi.org/10.1038/415023a [Accessed 15 March 2022].
- Crutzen, P. J. and Stoermer, E. F. (2000), “The ‘Anthropocene’”, in *Global Change Newsletter*, vol. 41, pp. 17-18. [Online] Available at: igbp.net/download/18.316f18321323470177580001401/1376383088452/NL41.pdf#page=17 [Accessed 15 March 2022].
- Dal Falco, F. (2018), “Corpi, design, post umano – Modernità, ancora?”, in *Diid*, vol. 64, pp. 134-141. [Online] Available at: academia.edu/39046347/Corpi\_design\_postumano\_modernita%C3%A0\_ancora [Accessed 15 March 2022].
- Dorfles, G. (1968), *Artificio e natura*, Einaudi, Torino.
- Dunne, A. and Raby, F. (2013), *Speculative Everything – Design, Fiction, and Social Dreaming*, The MIT Press, Cambridge.
- Eco, U. (1962), *Opera aperta – Forma e indeterminazione nelle poetiche contemporanee*, Bompiani, Milano.
- European Commission (2021), *New European Bauhaus – Shaping more beautiful, sustainable and inclusive forms of living together*. [Online] Available at: europa.eu/new-european-bauhaus/index\_en [Accessed 15 March 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/legalcontent/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN [Accessed 15 March 2022].
- Friedman, Y. (2016), *Comment habiter la terre*, Éditions de l'Éclat, Paris.
- Fuller, B. (2008), *Operating Manual for Spaceship Earth*, Lars Müller Publishers, Zürich.
- Kries, M., Klein, A. and Clarke, A. J. (eds) (2018), *Victor Papanek – The Politics of Design, Exhibition Catalogs the Vitra Design Museum*, The Vitra Design Museum, Weil am Rhein.
- Langella, C. (2007), *Hybrid design – Progettare tra tecnologia e natura*, FrancoAngeli, Milano.
- Langella, C., Scodeller, D. and Dal Buono, V. (2017), “Design parametrico e generativo – Nuove prospettive di ricerca”, in *MD Journal*, vol. 3, pp. 6-13. [Online] Available at: mdj.materialdesign.it/index.php/mdj/article/view/84/74 [Accessed 15 March 2022].
- Latour, B. (2000), *Politiche della natura – Per una democrazia delle scienze*, Cortina Raffaello, Milano.
- Leonardi, C. and Stagi, F. (2018), *L'Architettura degli alberi*, Lazy Dog, Milano.
- Lewis, S. L. and Maslin, M. A. (2015), “Defining the Anthropocene”, in *Nature*, vol. 519, pp. 171-180. [Online] Available at: doi.org/10.1038/nature14258 [Accessed 15 March 2022].
- Lovelock, J. (1979), *Gaia – A New Look at Life on Earth*, Oxford University Press, Oxford.
- Lucibello, S. (2019), “Design, Nature and Artifice – Towards a new autopoietic model?”, in *Diid* vol. 69, pp. 26-33.
- Lucibello, S. and La Rocca, F. (2015), *Innovazione e utopia nel design italiano*, Roma Design Più, Roma.
- Maldonado, T. (1990), *Cultura, democrazia, ambiente – Saggi sul mutamento*, Feltrinelli, Milano.
- Maldonado, T. (1980), *Il futuro della modernità*, Feltrinelli, Milano.
- Maldonado, T. (1970), *La speranza progettuale*, Einaudi, Torino.
- Mancuso, S. (2019), *La nazione delle piante*, Laterza, Roma.
- Manzini, E. (2021), *Abitare la prossimità – Idee per la città dei 15 minuti*, Egea, Milano.
- Margulis, L. (2002), *Una revolución en la evolución – Escritos seleccionados*, Universitat de València, Valencia.
- Marzocca, F. (2014), *Il nuovo approccio scientifico verso la transdisciplinarietà*, Mythos Edizioni, Roma. [Online] Available at: academia.edu/8868769/Il\_nuovo\_approccio\_scientifico\_verso\_la\_transdisciplinari%C3%A0 [Accessed 15 March 2022].
- Moore, J. W. (2017), “The Capitalocene, Part I – On the Nature and Origins of our Ecological Crisis”, in *The Journal of Peasant Studies*, vol. 44, issue 3, pp. 594-630. [Online] Available at: doi.org/10.1080/03066150.2016.1235036 [Accessed 15 March 2022].
- Ness, D. (2021), “Dalla nuova edilizia alla rigenerazione – Può il Nuovo Bauhaus ridefinire l'architettura e dare risposte ai cambiamenti globali? | The shift from new build to regeneration can the New Bauhaus transform architecture and design to meet global challenges?”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 9, pp. 22-31. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/922021 [Accessed 15 March 2022].
- Obrist, H. U., Lewin, R. and Parrella, C. (eds) (2021), *Formafantasma Cambio*, Centro Pecci Nero Editors, Prato.
- Onfray, M. (2019), *Thoreau – Vivere una vita filosofica*, Ponte alle Grazie, Firenze.
- Oxman, N. (2015), “Templating Design for Biology and Biology for Design”, in *Architectural Design*, vol. 85, issue 5, pp. 100-107. [Online] Available at: doi.org/10.1002/ad.1961 [Accessed 15 March 2022].
- Oxman, N. and Yoon, M. (2016), *Design across scales and Disciplines*. [Online] Available at: neri.media.mit.edu/courses/details/design-across-scales.html [Accessed 15 March 2022].
- Papanek, V. (1985), *Design for the Real World – Human Ecology and Social Change*, Academy Chicago, Chicago.
- Pearce, D. (1983), “Ethics, Irreversibility, Future Generations and the Social Rate of Discount”, in *International Journal of Environmental Studies*, vol. 21, issue 1, pp. 67-86. [Online] Available at: doi.org/10.1080/00207238308710063 [Accessed 15 March 2022].
- Pellegrino, G. and Di Paola, M. (2018), *Nell'Antropocene – Etica e politica alla fine del mondo*, DeriveApprodi, Roma.
- Petroni, M. (2020), *Il progetto del reale – Il design che non torna alla normalità*, Postmedia Books, Milano.
- Petroni, M. (2016), *Mondi possibili – Appunti di teoria del design*, Edizioni Temporale, Milano.
- Platone, (2016), *Timaeus*, Hackett Publishing Company, Indianapolis.
- Quinz, E. (2020), *Contro l'oggetto – Conversazioni sul design*, Quodlibet, Macerata.
- Ramchandani, J. (2017), *What is 'transdisciplinary'?*, in *We learn, we grow*, 24/01/2017. [Online] Available at: blog.welearnwegrow.community/what-is-transdisciplinary-13c16eacf57d [Accessed 11 March 2022].
- Ranzo, P. (2018), “Design as a staging of life – Theories and works of Andrea”, in Branzi, A. and Cattaneo, C. E. (ed.), *E=mc<sup>2</sup> – The project in the age of relativity*, Actar Publishers, Barcellona, pp. 500-503.
- Sagan, L. (1967), “On the origin of Mitosing Cells”, in *Journal of Theoretical Biology*, vol. 14, issue 3, pp. 225-274. [Online] Available at: doi.org/10.1016/0022-5193(67)90079-3 [Accessed 15 March 2022].
- Sommariva, E. (2011), “Will architecture be multi-species in the future?”, in *Domus web*, 09/06/2021. [Online] Available at: domusweb.it/en/speciali/venice-architecture-biennale-2021/gallery/2021/why-architecture-will-be-multispecies-in-the-future.html [Accessed 15 March 2022].
- Thoreau, D. H. (2018), *Il mattino interiore*, Ortica Editrice, Aprilia.
- Trischler, H. (2016), “The Anthropocene – A Challenge for the History of Science, Technology, and the Environment”, in *NTM Journal of the History of Science, Technology and Medicine*, vol. 24, pp. 309-335. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s00048-016-0146-3 [Accessed 15 March 2022].
- UN – General Assembly (2015a), *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 15 March 2022].
- UN – United Nations (2015b), *The Paris Agreement*. [Online] Available at: unfccc.int/sites/default/files/resource/parisagreement\_publication.pdf [Accessed 15 March 2022].
- van Der Leest, E. (2016), *Form follows Organism – The biological computer*, Megan Hoogenboom, Rotterdam.
- Vezzoli, C., Macri, L., Takacs, B. and Donfang, Y. (2022), *System Design for Sustainability in Practice – Methods, tools and guidelines to design Sustainable Product-Service Systems applied to Distributed Economies*, Maggioli Editore, Rimini.
- Zalasiewicz, J. (2021), “Prefazione”, in Gemmene, F. and Rankovic, A. (eds), *Atlante dell'Antropocene*, Mimesis Edizioni, Milano-Udine, p. 7.



## L'INNOVAZIONE DESIGN-DRIVEN DEI MATERIALI CIRCOLARI A BASE BIOLOGICA

### Strategie e competenze per la progettazione

## DESIGN-DRIVEN INNOVATION OF BIO-BASED CIRCULAR MATERIALS

### Design strategies and skills

Marinella Ferrara, Alessandro Squatrito

#### ABSTRACT

Negli ultimi anni il design ha rivolto l'attenzione all'Economia Circolare (EC) in cui le questioni relative ai materiali sono fondamentali. Sempre più aziende e designer rivolgono la propria ricerca verso i 'materiali circolari' provenienti dal riciclo di 'materiali tecnici' o creati da una base organica di scarti di lavorazione/produzione o consumo e reintegrabili nel ciclo biologico. L'articolo, focalizzato sui 'materiali circolari a base biologica', presenta la prima fase di una ricerca in corso di sviluppo, con l'obiettivo di mappare e sistematizzare le strategie utilizzate per l'ideazione, lo sviluppo, la progettazione, la produzione e la distribuzione dei nuovi materiali e dei relativi prodotti.

In recent years, design has turned its attention towards the Circular Economy where material issues are central. More and more companies and designers are turning their research towards 'circular materials' from the recycling of 'technical materials' or created from an organic base of processing/production or consumption waste and reintegrated into the biological cycle. The paper, focused on 'bio-based circular materials', presents the first phase of a research in progress, with the aim of mapping and systematising the strategies used for the conception, development, design, production and distribution of new materials and related products.

#### KEYWORDS

economia circolare, materiali circolari a base biologica, design sostenibile, design circolare, industrie creative

circular economy, bio-based circular materials, sustainable design, circular design, creative industries

**Marinella Ferrara**, PhD, is an Associate Professor of Industrial Design at Politecnico di Milano (Italy) and Head of MADEC, the Research Center on Material Design Culture. Her research aims to clarify the relationship between design and materials and to contribute to design theories and teaching methodologies. She is the Editor-in-chief of the online scientific Journal PAD. E-mail: [marinella.ferrara@polimi.it](mailto:marinella.ferrara@polimi.it)

**Alessandro Squatrito**, Designer, is a PhD Candidate at the Design Department of Politecnico di Milano (Italy). In addition to the design activity, he carries out research in the field of design, materials and circular economy, and supports teaching activities. E-mail: [alessandro.squatrito@polimi.it](mailto:alessandro.squatrito@polimi.it)

A causa delle crescenti problematiche ambientali, il concetto di Economia Circolare (EC) ha ricevuto una crescente attenzione in quanto modello intenzionalmente rigenerativo e riparativo (World Economic Forum, Ellen MacArthur Foundation and McKinsey & Company, 2016). Nell'EC l'idea di rifiuto tende a essere eliminata attraverso processi conservativi, di riutilizzo o riciclaggio, in modo che le risorse possano essere utilizzate più a lungo possibile (Milios, 2018). Alla luce di ciò, la European Commission (2020) ha recentemente proposto un Piano di Azione recepito da molti Stati membri che hanno, a loro volta, adottato una varietà di strategie di implementazione. Per chiarire il concetto di EC, dobbiamo riferirci alle prime teorizzazioni che risalgono agli anni '90, quando termini come 'metabolismo industriale' e 'industria ecologica' (Ayres, 1998), indicavano un sistema il più somigliante alla natura e ai suoi processi di creazione e rimessa in circolo (Bocken et alii, 2016). Attuare l'EC implica creare business e profitto non più solo dalla vendita di beni, ma anche dal riutilizzo nel tempo di materiali e prodotti (Bakker et alii, 2014); parallelamente si sviluppa il 'design out waste' (Kottaridou and Bofylatos, 2019) attraverso una serie di azioni e strategie – manutenzione, conservazione, riutilizzo, riciclo, riuso, ecc. – categorizzate e sistematizzate da diversi studiosi (Bakker et alii, 2014; Bocken et alii, 2016; Chapman, 2009; De los Rios and Charnley, 2017; Milios, 2018; Moreno et alii, 2016; Murray, Skene and Haynes, 2017).

La letteratura scientifica non lascia dubbi: poiché gran parte dell'impatto ambientale dei prodotti è definito già nella fase di progettazione e di selezione dei materiali (Mesa, Esparragoza and Maury, 2018), il design è chiamato ad anticipare il problema e proporre soluzioni per nuove sfide sociali, economiche e ambientali (Singh and Ordoñez, 2016). La comunità del design ha quindi rivolto la propria attenzione verso materiali sostenibili e materiali a base di sostanze naturali sono stati riconosciuti come una possibile strategia per la transizione verso l'EC. Si assiste a un cambio di passo della ricerca di design, che ha spostato il processo progettuale nella fase di concezione del materiale e ha visto i designer divenire 'agenti' del bio-manufacturing, con la creazione di start-up focalizzate sulla EC (Nigten and Beekman, 2015). Questo fenomeno design-driven contribuisce, seppur ancora parzialmente, alla risoluzione di problemi ambientali, creando nuove opportunità economiche basate sull'ecologia per manifatture, artigiani e comunità locali in molti contesti produttivi, guidando l'innovazione del prossimo futuro (Ferrara, 2021).

In quest'ottica il contributo ha lo scopo di identificare le strategie messe in atto dai designer nella transizione verso la EC evidenziando le opportunità, ma anche le difficoltà che si incontrano nello sviluppo di attività produttive basate sui materiali circolari bio-based di nuova sperimentazione. Dopo un primo paragrafo introduttivo sui 'materiali circolari a base biologica', il lavoro prosegue esplicitando la ricerca condotta, la sua metodologia e presentando cinque casi studio emblematici per l'approccio design-driven e le caratteristiche dei materiali e prodotti.

**Materiali circolari a base biologica, una possibile definizione** | Molti studiosi concordano sul fatto che gran parte delle strategie progettuali per la

sostenibilità si basino sull'utilizzo dei materiali (Liedtke, Baedeker and Borrelli, 2015; Ceschin and Gaziulusoy, 2016; Mesa, Esparragoza and Maury, 2020; Kottaridou and Bofylatos, 2019; Crabbé et alii, 2013). Un materiale può definirsi 'circolare' se a fine vita può essere tecnicamente riciclato, oppure se è completamente biodegradabile (anche attraverso compostaggio) senza il rilascio di sostanze nocive per l'ambiente; deve inoltre essere prodotto con tecnologie a impatto zero o quasi (di sintesi o meno) e quanto più possibile a livello locale (Dumée, 2022). L'interesse per nuovi materiali a base di sostanze naturali è emerso all'inizio degli anni '90 con la necessità delle aziende di trovare una soluzione alternativa all'uso eccessivo delle plastiche da fonti fossili; nel tempo ha preso corpo una consapevolezza etico-morale verso la sostenibilità, oltre che ambientale anche economica e sociale, senza voler rinunciare alle qualità estetico-funzionali dei prodotti (Morreale et alii, 2008) raggiunte dopo quasi un secolo di design di prodotti plastici. Un caso emblematico è il brevetto di Novamont per il Mater-Bi®, polimero a base di amido di mais ampiamente utilizzato fin dalla fine degli anni '90 per la produzione di imballaggi e oggetti di uso quotidiano.

Nell'ultimo decennio si è assistito a un radicale cambio di prospettiva poiché i designer puntano ad avere il controllo non solo sul prodotto, ma anche su tutta la filiera del processo produttivo e sul ciclo di vita del materiale (Ferrara, 2017; Camere and Karana, 2018). Di recente, i giovani progettisti, che sono cresciuti in un mondo quasi totalmente sintetico e hanno subito l'aggravarsi delle problematiche ambientali, hanno rivolto la loro attenzione alla possibilità di progettare materiali alternativi a partire da biomasse.

È da rilevare però che nella categoria dei materiali a base naturale possono convergere anche materiali nocivi o non biodegradabili oppure a base di sostanze naturali non rinnovabili, sintetizzati chimicamente da un materiale biologico o interamente biosintetizzati da organismi viventi (Smith, Moxon and Morris, 2016). Per questo motivo risulta indispensabile dare una definizione di 'materiali circolari a base biologica': essi sono materiali progettati a partire da una base naturale (risorse organiche vergini o di scarto, microrganismi o sostanze da loro prodotte) che a fine vita assicurano una totale biodegradabilità e/o compostabilità, oppure il riciclo, non contenendo additivi e solventi chimici nocivi all'uomo e all'ambiente; per quanto possibile, questi materiali devono essere sviluppati utilizzando risorse rinnovabili e locali, promuovendo valori correlati alla sostenibilità e al legame con la comunità che li produce.

Se molti sono gli esempi di materiali sviluppati negli ultimi anni che rientrano nella suddetta definizione, quali passi sono stati condotti per la loro produzione e commercializzazione? Quali competenze sono state impiegate? Quali canali si utilizzano per la presentazione e la distribuzione dei prodotti? Quali certificazioni posseggono? A queste e altre domande il presente contributo (che si riferisce ai primi risultati di una ricerca dal titolo 'Narrowing the gap to biomaterials – Biomaterials applications for a circular approach within the furniture industry and domestic market'<sup>1</sup>) cercherà di dare delle risposte. Seppur esista una letteratura che evidenzia il ruolo dei designer come promotori della transizione verso la EC, attraverso

pratiche DIY per lo sviluppo di materiali bio-based (Rognoli et alii, 2015; Asbjørn Sørensen and Thyne, 2020; Ayala-Garcia and Rognoli, 2017), si rileva la carenza di attività di ricerca sui materiali circolari design-driven a base biologica che abbiano superato la fase sperimentale raggiungendo la fase produttiva e di distribuzione di questi materiali e prodotti.

**Metodologia di ricerca** | Per favorire la comprensione della complessità del fenomeno, dopo un'analisi della letteratura scientifica è stato condotto uno studio tematico della letteratura grigia<sup>2</sup> per l'individuazione di casi studio da indagare; sono stati selezionati 40 casi studio (Tab. 1) nel contesto europeo e dei Paesi associati. La selezione comprende PMI – che vanno da piccoli studi di progettazione ad aziende manifatturiere – identificabili come 'imprese creative' (Throsby, 2008) che producono materiali circolari a base biologica e relativi prodotti, oggetti d'uso quotidiano e componenti per l'interior. Sono stati selezionati e raccolti i dati dei soli casi che hanno superato la fase di sperimentazione, raggiunto quella di produzione e sono in fase di distribuzione-vendita sul mercato, così da includere, in modo indiretto, anche le aspettative e i valori di sostenibilità posseduti dagli oggetti, riconosciuti e apprezzati dai consumatori-utenti (Kumar and Noble, 2016). È stato predisposto un questionario semi-strutturato con domande a risposta aperta e scale di valutazione, per comprendere motivazioni e precisi punti di vista (Wilson, 2014) tenendo conto di una serie di criteri basati su un preciso quadro teorico come definito da Eisenhardt (1989).

L'indagine è stata realizzata presentando il questionario online ai titolari delle aziende o ai responsabili dei loro uffici ricerca e sviluppo (42 intervistati in totale); esso è composto da quattro sezioni: 1) Informazioni generali su organizzazione aziendale, competenze possedute, partecipazione a fiere ed eventi e tempistiche di sviluppo del progetto; 2) Domande su materiale e sua sostenibilità, tecnologie produttive, materie prime utilizzate, test per certificazioni e con consumatori/utenti; 3) Domande su prodotti, tipologia merceologica, certificazioni e test con gli utenti, canali di distribuzione e di assistenza; 4) Prospettive future, necessità e competenze che mancano per lo sviluppo di nuovi progetti e prodotti. Per brevità di trattazione si riportano i risultati dell'indagine facendo riferimento a cinque casi studio considerati emblematici perché includono le caratteristiche comuni alla maggior parte dei casi analizzati.

**Casi studio** | Miyuca<sup>3</sup> (Figg. 1-3) è uno studio di Bressanone (Italia), che progetta e produce artigianalmente oggetti con un nuovo materiale composito denominato LAAB, sviluppato internamente a base di un rifiuto verde urbano, le foglie caduche, con l'aggiunta di una resina di origine naturale. In natura le foglie si decompongono trasformandosi in nutrienti per il terreno, cosa che nelle aree urbane è estremamente limitata dalla cementificazione del suolo e richiede che gli sfalci siano raccolti; da qui l'idea di utilizzare questo scarto naturale per creare un nuovo materiale da foglie agglomerate. Il processo produttivo prevede la raccolta delle foglie, l'essiccazione, la triturazione, l'aggiunta della resina, la modellazione in stampi in legno, la sfomatura e finitura. La designer ha svi-

| Company                | Origin         | Material  | Products   | Production     | Distribution and commercialization |
|------------------------|----------------|---|--|----------------|------------------------------------|
| Chips Board            | United Kingdom | Circular biomaterial from the recycling of potato production waste  | Semi-finished panels                                       | ✓              | ✓                                  |
| HuisVeendam            | Netherlands    | HuisVeendam produces starch-based biomaterials using agricultural production wastes   | Semi-finished panels                                       | ✓              | ✓                                  |
| Highsociety            | Italy          | Biobased material from circular supply chain using coffee, tobacco, hops, hemp and pomace waste   | Senilia and Highlight lamps                                | ✓              | ✓                                  |
| Miyuca                 | Italy          | LAAB is a biobased material using deciduous leaves  | Lamps and panels   | ✓              | ✓                                  |
| Gaurav mk Wali         | Netherlands    | Biobased materials from the collection and reuse of pine needles  | Items for the desk   | ✓              | Under development                  |
| Philipp Hainke         | Germany        | Organic is an adhesive, composed of calcium hydroxide and casein, is used to press hemp fibers and hemp shives into solid shapes by forming a sandwich material with a hemp fiber cover and a core of hemp shives               | Chairs   | ✓              | Under development                  |
| Christien Meindersma   | Netherlands    | Composite biomaterial created using four layers of an existing linen fabric and five layers of a new linen felted with dry needles with the addition of PLA   | Chairs   | ✓              | ✓                                  |
| Ottan studio           | Turkey         | Biobased materials created using organic material waste such as walnut shells, pistachios, rice processing waste, citrus peels  | Semi-finished panels                                       | ✓              | ✓                                  |
| Sulapac                | Finland        | Sulapac produces a range of bio-based materials that can be processed with common plastics tools (extrusion, molding, injection); the materials are all biodegradable and/or compostable and are used in the packaging industry | Granules for molding                                       | ✓              | ✓                                  |
| Krill design           | Italy          | Biopolymer based on orange peel scraps  | Lamps  | ✓              | ✓                                  |
| Grown.bio              | Netherlands    | Biomaterial from the growth of mycelium on a substrate of organic matter  | Furnishing accessories, lamps, chairs, packaging           | ✓              | ✓                                  |
| Treplast               | Netherlands    | Lignin-based bioresin   | Furnishing accessories and moulding material               | ✓              | ✓                                  |
| Studio Atticus Durnell | United Kingdom | That's caffeine, biomaterial based on coffee residues   | Small furnishing accessories                               | ✓              | ✓                                  |
| Organoid               | Austria        | Organoid is a fully biodegradable material based on organic material waste such as clippings and prunings; the material produced is highly resistant and has excellent acoustic insulation qualities                            | Semi-finished panels and material for forming on 3D moulds | ✓              | ✓                                  |
| Kajkao                 | Italy          | Bio-base material from chocolate production waste   | Semi-finished panels                                       | ✓ upon request | ✓ upon request                     |
| Coffefrom              | Italy          | Bio-based material from coffee waste  | Coffe cups   | ✓              | ✓                                  |
| Ohoskin                | Italy          | Organic yarns and fabrics from cactus and oranges   | Textile  | ✓ upon request | ✓ upon request                     |
| Leap                   | Sweden         | Organic leather produced from apple processing waste with added natural rubber  | Leather  | ✓              | ✓                                  |

Tab. 1 | Synopsis of case studies selected for research.

| Company             | Origin         | Material  | Products   | Production     | Distribution and commercialization |
|---------------------|----------------|---|--|----------------|------------------------------------|
| Orangefiber         | Italy          | Organic yarns and fabrics from the waste of the processing of oranges   | Textile  | ✓ upon request | ✓ upon request                     |
| Biofaber            | Italy          | Bio-based leather from cellulose of bacterial origin  | Leather  | ✓              | Under development                  |
| Fulgar              | Italy          | Evo, bio-based yarn produced by cultivation of castor beans   | Yarn   | ✓              | ✓                                  |
| Kanesis-Ecopound    | Italy          | Thermoplastic materials filled with biomass from agricultural by-products, free of synthetic additives and dyes | 3D Printing Filaments, 3D Printed Products, and Thermoplastics for Molding | ✓              | ✓                                  |
| Caracara collective | Finland        | Bio-based materials from agro-food wastes   | Lamps and plates for tables or tops  | ✓              | ✓                                  |
| Kuori               | Switzerland    | Bio-based material from banana and walnut scraps  | Soles for shoes  | ✓              | Under development                  |
| Mogu                | Italy          | Mycelium-based bio-based material on a biological substrate from agro-food wastes                               | Acoustic panels  | ✓              | ✓                                  |
| Edvard & Steenfatt  | Denmark        | Material from ponds and cellulose   | Lamps and chairs   | ✓              | Under development                  |
| OVD design          | Netherlands    | Biopolymer based on coffee scraps   | Biopolymer granules  | ✓              | Under development                  |
| Decafè              | Spain          | Bio-based material produced from coffee waste   | Lamps and furnishing accessories   | ✓              | ✓                                  |
| Vegea               | Italy          | Organic leather produced from biomass from agriculture  | Leather and yarns  | ✓              | Under development                  |
| Honext              | Spain          | Panels from waste paper production sludge   | Insulation panels for construction   | ✓              | ✓                                  |
| Marinatex           | United Kingdom | Bio-based material from the waste of the catch chain  | Film   | ✓              | Under development                  |
| Shellworks          | United Kingdom | Biobased materials from chitin  | Packaging and granules for molding   | ✓              | ✓                                  |
| Polibyon            | Spain          | Bacterial cellulose skin  | Leather  | ✓              | Under development                  |
| Peelsphere          | Germany        | Bio-based materials from agro-food wastes   | Film   | ✓              | Under development                  |
| Woodoo              | France         | Bio-based lignin materials  | Surfaces e film  | ✓              | Under development                  |
| Biohm               | United Kingdom | Bio materials based on mycelium or agro-food scraps   | Lamps and panels   | ✓              | ✓                                  |
| Frumat              | Italy          | Leather from apple waste  | Leather  | ✓              | ✓ upon request                     |



luppato una serie di semilavorati con cui produce basi per tavoli e alcune lampade. Tra i diversi oggetti prodotti vi è anche una serie di lampade, selezionate al German Design Award 2019 e al Green Product Award 2019, che sfruttano le qualità estetiche di traslucenza del composto e la variazione dei colori delle foglie; tutte le lampade possiedono la certificazione CE prevista per gli apparecchi elettrici.

KeepLife<sup>4</sup> di Caserta (Italia) produce dal 2017 un materiale composito di natura lignea, plasmabile e auto-indurente, che utilizza gusci di nocciole, noci, mandorle, pistacchi, arachidi e buccia di castagne, con l'aggiunta di lignina e senza cariche o riempitivi, solventi o formaldeide. L'azienda ha privilegiato risorse locali come lo scarto della nocciola irpina IGP e delle mandorle pugliesi, oltre a quelle delle mandorle sarde e dei pistacchi siciliani. Le fasi produttive vanno dalla selezione e pezzatura dei gusci al controllo del grado di umidità, che influisce sulle caratteristiche finali del prodotto; segue l'aggiunta di lignina, la formatura dentro appositi stampi e l'asciugatura a umidità controllata.

I prodotti possono essere ottenuti per stampaggio a pressa idraulica e ulteriormente lavorati con comuni attrezzi da falegnameria; per le loro proprietà fisico-chimiche sono paragonabili al truciolare e dipendono dalle materie prime selezionate e miscelate in formulazioni specificamente brevettate. L'azienda produce, oltre a sei materiali corrispondenti alle materie prime, una linea con quattro differenti colorazioni: 'giallo tufo', 'bianco fiano', 'nero vesuvio' e 'rosso pompeiano' utilizzando pigmenti derivati da terre locali. Oltre alla partnership con il territorio e le comunità produttive locali, l'azienda ha attivato delle collaborazioni con designer nazionali e internazionali (Fig. 4) – come Matali Crasset (Fig. 5), Sovrappensiero Design e Studio Irvine – attirando una community di giovani creativi con cui progetta e produce oggetti e complementi per la casa che commercializza attraverso la propria pagina web.

Ottan<sup>5</sup> (Figg. 6-8) è un'azienda con sede a Istanbul (Turchia) fondata da Ayse Yilmaz; nata nel 2016, vanta oggi numerose collaborazioni con ingegneri, designer ed esperti di marketing. Il primo passo per Ottan è stato lo sviluppo di una tecnologia di riciclo avanzata di rifiuti organici, grazie alla partnership con la società di rifiuti Fazla Gıda e con piccoli produttori del territorio. Ottan commercializza semilavorati in pannelli da 2-3 mm fino a 2 cm di spessore, prodotti a partire da scarti alimentari, agricoli o da sfalci e potature che utilizza come inerti e che agglomera utilizzando leganti di origine naturale. Il materiale può essere modellato attraverso stampaggio di materiale sfuso a iniezione o per stratificazione e i semilavorati così ottenuti possono essere fresati, tagliati e piallati. Il catalogo al momento conta venti diversi prodotti per rivestimenti di interni.

Dopo sei anni dalla produzione, i pannelli non hanno modificato le proprie caratteristiche chimico-fisiche ed estetiche; quelli testati per l'uso esterno, ancora non commercializzati, risultano resistenti all'acqua e ai raggi UV. Durante l'intervista l'azienda ha riconosciuto le difficoltà – dichiarate di livello medio – riscontrate nella ricerca e sviluppo del prodotto. Grazie all'ampia varietà di effetti superficiali, pattern, colorazioni, finiture e di lavorazioni a catalogo, Ottan sta ricevendo un grande apprezzamento da parte del mercato di riferimen-



Figg. 1-3 | LAAB Light Pendant designed by Studio Miyuca, 2019 (source: miyuca.it, 2020).

to, e in particolare da architetti e interior designer del Regno Unito. Al momento Ottan non possiede alcuna certificazione riconosciuta, ma sta facendo i primi passi per la digitalizzazione dell'azienda incorporando un sistema integrato di AI, IoT e Machine Learning per calcolare automaticamente l'impronta di carbonio per ogni articolo dalla produzione alla spedizione. Attraverso il proprio sito internet, Ottan commercializza anche una piccola collezione di complementi d'arredo, per far conoscere il materiale a un pubblico sempre più vasto.

Mogu<sup>6</sup> è una delle poche aziende in Europa, con sede a Varese (Italia), che produce e commercializza prodotti a base di micelio per il mercato dell'architettura d'interni. Il prodotto più famoso dell'azienda è Acoustic (Figg. 9-12), un pannello fonoassorbente prodotto da un substrato di materiale organico (scarti della produzione agro-industriale e fibre di cotone e paglia) colonizzato dalle spore di un fungo e reso compatto negli stampi dalla sua parte radicale, il micelio. L'azienda, nata dalle idee e dalla ricerca di Maurizio Montalti (2017), dopo un lungo periodo di sperimentazione e perfezionamento del processo produttivo, oggi conta più di 30 persone tra cui designer, micologi, chimici e ingegneri.

Molte sono state le difficoltà da superare in questa ricerca inedita per definire le compatibilità dei materiali di base con il micelio e i dosaggi dei componenti nelle miscele (quantità e densità delle fibre adatte alla resistenza e qualità ricercata, temperature e umidità adatte alla crescita del micelio in stampi, ecc.). Il fungo impiega tempi diversi per proliferare e colonizzare il substrato a seconda delle fibre utilizzate come base e, al termine del processo di crescita, il pannello ottenuto viene inserito in appositi forni per arrestare la proliferazione e asciugare il prodotto; in una fase successiva il prodotto è rifinito con vernici specifiche e sagomato in forme diverse. Il materiale possiede ottime proprietà acustiche e di resistenza al fuoco (classe bs2d0) e buone proprietà meccaniche mentre al tatto risulta simile al velluto, presentandosi con una texture fibrosa e compatta con leggere ondu-

lazioni superficiali. Un'altra caratteristica è la buona capacità d'invecchiamento poiché, se non esposto a forte umidità, conserva intatte le proprie qualità fisiche e meccaniche. A fine vita, i pannelli senza finitura superficiale sono compostabili, mentre i verniciati possono essere disassemblati e riutilizzati come fibre. Il materiale è stato testato da potenziali utenti per comprenderne l'accettazione e le reazioni, e definirne gli effetti superficiali.

Mogu ha ricevuto negli anni una serie di finanziamenti europei che ne hanno permesso sviluppo e studi per l'identificazione dei mercati di riferimento. Oggi, oltre ai pannelli acustici offerti in una grande varietà di forme, configurazioni e modelli, ottenuti anche grazie alla modellazione parametrica e la produzione robotizzata, il catalogo aziendale offre altri prodotti come Floor Flex, Floor Tiles (Fig. 13) e Ephea<sup>TM</sup> (Fig. 14): i primi due sono rivestimenti e piastrelle per pavimento ottenuti da materiale bio-based al 67% con una formulazione basata su risorse di scarto (dalle conchiglie ai fondi di caffè), senza solventi e completamente riciclabili; il terzo è una pelle alternativa a quella animale, anch'essa proveniente dal micelio.

In ultimo si riporta il caso di Coffeefrom<sup>7</sup>, progetto nato come spin-off da una cooperativa sociale della provincia di Milano (Italia) con l'obiettivo di portare a compimento i principi di Extended Producer Responsibility. Coffeefrom è un materiale privo di bisfenolo a marchio registrato composto da scarti di caffè che arrivano da produttori locali, il cui processo produttivo – completamente industrializzato grazie alla creazione di un'apposita catena produttiva che permette la standardizzazione evitando le fasi pilota – prevede l'essiccazione della polvere di caffè esausta e successivamente l'aggiunta di acido polilattico. Lo sviluppo del materiale, che ha impiegato due anni di test e modifiche del processo di stampaggio a iniezione, ha permesso la produzione di oggetti adatti a contenere cibo come tazze, bicchieri e packaging (anche su commissione) certificati per il contatto con il cibo, il tutto commercializzato attraverso uno store online.

Sebbene al momento si stia sviluppando anche una tazza da tè, il prodotto di punta è una tazzina da caffè con il suo piattino (Fig. 15) attraverso cui l'azienda intende rimarcare la natura del materiale di produzione. Il materiale si presenta liscio al tatto e di colore marrone scuro ricordando la materia prima di provenienza; ha una buona resistenza meccanica e può essere lavato a temperature che raggiungono i 50 °C. L'azienda sta lavorando allo sviluppo di un materiale meccanicamente e termicamente più resistente, che permetta di ridurre gli spessori favorendo la biodegradabilità e la resistenza al calore; anche il ciclo produttivo è in fase di perfezionamento per ridurre l'impronta ambientale misurata con la metodologia LCA.

**Discussione** | L'analisi dei casi studio offre una panoramica, seppur frammentaria, su una promettente realtà emergente, produttivamente diversificata, fatta di aziende dinamiche che hanno raggiunto stadi di sviluppo diversi ma comunque rilevanti per i traguardi in termini di produzione, commercializzazione e distribuzione di materiali e prodotti circolari innovativi e a base biologica. Grazie alle interviste sono stati identificati gli elementi significativi che caratterizzano questa realtà design-driven, e che si riportano di seguito.

**Distribuzione Geografica.** Sebbene la ricerca sia stata condotta tenendo in considerazione il territorio Europeo e dei Paesi associati, la presenza di queste realtà imprenditoriali è concentrata in Germania, Italia e nei Paesi Bassi. Il territorio italiano contribuisce con un cospicuo numero di casi studio, interessanti sia per tipologia di materiali e prodotti creati sia per il livello qualitativo raggiunto nello sviluppo aziendale, come dimostrato anche dal documento 100 Italian Circular Economy Stories 2021 (ENEL and Symbola, 2021).

**Mindset Creativo e Team Multidisciplinari.** Nei casi studio l'idea del materiale è guidata dall'approccio creativo nell'osservare la realtà secondo nuovi parametri, cioè a partire dalle risorse disponibili, riscoprendo materie povere e di scarto per valorizzarle. L'approccio sperimentale nei confron-



Figg. 4, 5 | Natty, nutcracker, designed by Ilaria Spagnuolo, produced by Keeplife; Planter, gardening object, designed by Matali Crasset, produced by Keeplife (credits: Keeplife, 2020).



**Fig. 6, 7** | Material samples designed by Ottan studio (credits: Ottan Studio 2022).

**Fig. 8** | 'Arceik' coffee bar, interiors with Ottan studio surfaces, designed by Ottan studio (credit: Ottan, 2022).

Next page

**Fig. 9, 10** | Forest acoustic systems designed by Mogu (source: mogu.bio, 2022).

ti delle tecniche da parte di designer che si sono impegnati nello sviluppo dei materiali è fondamentale come anche la determinazione che li ha spinti ad andare oltre la sperimentazione per proseguire nella fase produttiva e di mercato. Si evidenzia però la necessità, e spesso la difficoltà, di coinvolgere altre competenze dall'ingegneria chimica, meccanica e gestionale a esperti in sostenibilità, fondamentali per lo sviluppo del materiale, l'identificazione di processi produttivi standardizzati e la stabilizzazione delle caratteristiche chimiche e fisiche dei materiali; infatti nei casi studio, coloro che sono stati capaci di produrre e distribuire i propri prodotti hanno creato gruppi multidisciplinari in cui esperti in chimica, marketing, ingegneria, biologia, fisica collaborano guidati dalla creatività e dalla circolarità.

**Tipologie Merceologiche.** La ricerca sul materiale, in quanto focus progettuale, indirizza l'estetica e la scelta merceologica dei prodotti da produrre, al fine di raggiungere un ampio pubblico di utilizzatori e di aumentarne l'accettazione e la scelta. Tutti i casi studio riportati sfruttano abilmente le capacità di narrare il prodotto a partire dal materiale: infatti, mentre Miyuca punta su qualità sensoriali, trasparenze e palette colore collegate alle materie di base e Ottan su granulometrie, gamma dei colori e pattern esaltando le materie prime, Coffeefrom ha scelto la strategia di produrre dal caffè oggetti per gustare la bevanda e KeepLife sfrutta il legame con il territorio attraverso colori tipici e finiture legate al contesto di produzione.

**Legame con il Territorio e le Comunità Locali.** Nella maggior parte dei casi si riscontra un forte legame tra l'attività produttiva e il territorio. Ciò si riscontra in KeepLife, in cui la scelta delle materie prime è definita in base alle produzioni locali, riducendo i trasporti e facilitando la catena produttiva, e in Ottan, che ha condotto uno studio delle risorse territoriali, così da differenziarsi da possibili concorrenti. In KeepLife il binomio design/territorio si estende anche al campo dei semilavorati coinvolgendo nell'ideazione dei prodotti una rete di giovani designer. La circolarità non è soltanto una questione 'materiale' ma anche 'sociale' nell'ottica dell'innovazione nello sviluppo delle comunità (quindi innovazione della manodopera locale e della cultura materiale). Allo stesso tempo queste aziende creative utilizzano il volano del design per dare visibilità internazionale ai prodotti di uno specifico territorio e alla sua estetica identitaria.

**Varietà nel Livello di Artigianalità e Industrializzazione.** I casi studio presentano molte differenze sul piano della produzione; se Miyuca produce esclusivamente a mano un materiale di grande qualità estetica applicato a piccole collezioni, Mogu si caratterizza per una struttura altamente specializzata nel design, un'elevata innovazione tecnologica applicata alla progettazione e una varietà di prodotti a catalogo, sebbene il processo produttivo presenti un livello di industrializzazione basso, con delle fasi artigianali e tempi lunghi, ad esempio nella messa in forma e nella crescita del micelio. Lo stesso avviene nel processo produttivo dei prodotti di KeepLife, in particolare nelle fasi di formatura e asciugatura dei materiali, mentre Coffeefrom può vantare un processo produttivo industrializzato, alla pari di qualsiasi altra produzione industriale con convenzionali polimeri termoplastici, determinando una varietà di target parecchio differenziata.

Brevetti, Certificazioni, Finanziamenti e Modelli di Sviluppo. I casi studio hanno affrontato lunghi periodi di ricerca per raggiungere certificazioni che ne attestino provenienza, basso impatto ambientale e sicurezza in relazione all'uso. Data la particolarità dei materiali e dei processi produttivi, nel 75% dei casi sono state attivate forme di tutela del marchio attraverso la loro registrazione o brevetti. Dalle interviste è emerso che diverse aziende hanno partecipato a bandi europei allo scopo di acquisire fondi per lo sviluppo dei propri progetti, a dimostrazione che la promozione e l'incentivazione da parte delle Istituzioni pubbliche è fondamentale per lo sviluppo di nuove attività produttive correlate all'EC. In generale, dai casi studio si evince che le strategie bottom-up hanno permesso a nuove realtà di poter scalare l'innovazione in modo meno rischioso e più sostenibile proseguendo nella ricerca e nello sviluppo di materiali e prodotti con un approccio 'centrato sulla soddisfazione dell'utente', per acquisire fette maggiori di mercato che consentano una reale pratica sostenibile e circolare.

**Conclusioni** | Il contributo presenta gli esiti della prima fase di una ricerca che ha l'obiettivo di tracciare lo stato dell'arte di progettisti e aziende nate con l'obiettivo di creare, sviluppare e distribuire materiali e prodotti sostenibili con un approccio circolare e design-driven, evidenziando strategie, necessità e difficoltà incontrate. Quella presentata è solo una parte di un sistema più ampio fatto di realtà produttive ognuna con le proprie specificità, legate al territorio di appartenenza e capaci di creare innovazione unendo capacità progettuali e necessità ambientali con approcci tipici del design. La prima fase della ricerca mette comunque in luce una realtà produttiva nuova, scaturita dalla creatività di designer che si fanno interpreti dell'emergenza ambientale e che hanno fatto dei principi di circolarità una forma di business.

Attraverso i dati raccolti è stato possibile definire le caratteristiche principali delle aziende, dei materiali e dei prodotti, le modalità di comunicazione, gli approcci e gli specialisti coinvolti, le qua-

lità e le certificazioni possedute, i processi produttivi e i canali di distribuzione, ma anche ricostruire la storia, gli sviluppi, le difficoltà, i limiti e le peculiarità. La ricerca prosegue con la raccolta di casi studio e dei dati ad essi connessi per poter restituire la fotografia di una tendenza che merita di essere studiata e compresa. Nelle successive fasi si cercherà di comprendere metodi e strumenti per raggiungere gli utenti e aumentare il valore e l'accettazione da parte di un pubblico sempre più vasto. I dati raccolti e sistematizzati contribuiranno a comprendere appieno strategie e modelli di sviluppo, tenendo in considerazione altri attori oggi coinvolti nello sviluppo industriale come incubatori, aziende di consulenza, fondazioni ed Enti di sviluppo.

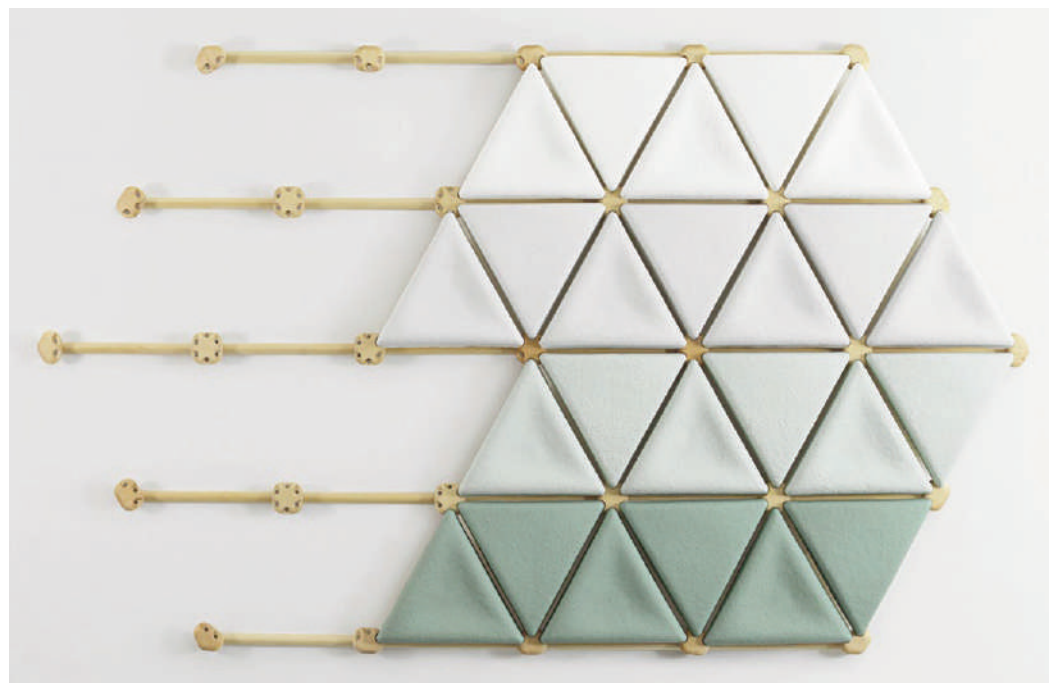
Due to growing environmental issues, the concept of Circular Economy (CE) has received increasing attention as an intentionally regenerative and restorative model (World Economic Forum, Ellen MacArthur Foundation and McKinsey & Company, 2016). In CE, the idea of waste tends to be eliminated through conservation, reuse or recycling processes, so that resources can be used for as long as possible (Milios, 2018). In light of this, the European Commission (2020) has recently proposed an Action Plan that has been taken up by the many Member States that have, in turn, adopted a variety of implementation strategies. In order to clarify the concept of CE, we have to refer to early theorisations dating back to the 1990s, when terms such as 'industrial metabolism' and 'industrial ecology' (Ayres, 1998), indicated a system as close as possible to nature and its processes of creation and re-circulation (Bocken et alii, 2016). Implementing CE implies creating business and profit no longer only from the sale of goods, but also from the reuse of materials and products over time (Bakker et alii, 2014); in parallel, 'design out waste' (Kottaridou and Bofylatos, 2019) is developed through a series of actions and strategies – maintenance, conservation, reuse, recycling, etc.

– categorised and systematised by different scholars (Bakker et alii, 2014; Bocken et alii, 2016; Chapman, 2009; De los Rios and Chamley, 2017; Milios, 2018; Moreno et alii, 2016; Murray, Skene and Haynes, 2017).

The scientific literature leaves no doubt: since much of the environmental impact of products is already defined at the material design and selection phase (Mesa, Esparragoza and Maury, 2018). Design is called upon to anticipate the problem and propose solutions for new social, economic and environmental challenges (Singh and Ordoñez, 2016). The design community has therefore turned its attention towards sustainable and natural materials recognised as a possible strategy for the transition to CE. There is a step-change in design research, which has shifted the design process to the material conception phase and has seen designers become 'agents' of bio-manufacturing, with the creation of CE-focused start-ups (Nigten and Beekman, 2015). This design-driven phenomenon contributes, albeit still partially, to the resolution of environmental problems, creating new economic opportunities based on the ecology of manufacturers, artisans and local communities in many production contexts, driving the innovation of the near future (Ferrara, 2021).

In this perspective, the contribution aims to identify the strategies implemented by designers in the transition towards CE by highlighting the opportunities, but also the difficulties encountered in the development of production activities based on the newly tested bio-based circular materials. After a first introductory paragraph on 'bio-based circular materials', the paper goes on to explain the research conducted and its methodology and presents five emblematic case studies for the design-driven approach and the characteristics of the materials and products.

**Bio-based circular materials, a possible definition** | Many scholars agree that most design strategies for sustainability are materials-based (Liedtke, Baedeker and Borrelli, 2015; Ceschin and Gazizulsoy, 2016; Mesa, Esparragoza and Maury, 2020;







Figg. 11, 12 | Wave, acoustic panel, designed by Mogu; Fields, acoustic panel, designed by Mogu (source: mogu.bio, 2022).

Kottaridou and Bofylatos, 2019; Crabbé et alii, 2013). Material can be defined as 'circular' if at the end of its life it can be technically recycled, or if it is completely biodegradable (including through composting) without the release of substances harmful to the environment; it must also be produced with zero or near-zero impact technologies (synthetic or otherwise), and as locally as possible (Dumée, 2022). Interest in new materials based on natural substances emerged at the beginning of the 1990s with the need for companies to find an alternative solution to the excessive use of plastics from fossil sources; over time, ethical-moral awareness of sustainability has taken shape, not only environmentally but also economically and socially, without wanting to give up the aesthetic-functional qualities of products (Morreale et alii, 2008) achieved after almost a century of designing plastic products. An emblematic case is Novamont's patent for Mater-Bi®, a cornstarch-based polymer widely used since the late 1990s for the production of packaging and objects of daily use.

The last ten years have witnessed a radical change in perspective as designers aim to have control not only over the product but also over the whole chain of the production process and the life cycle of the material (Ferrara, 2017; Camere and Karana, 2018). Recently, young designers, who have grown up in an almost entirely synthetic world and have suffered from worsening environmental issues, have turned their attention to the possibility of designing alternative materials from biomasses.

It should be noted, however, that the category of natural-based materials can also include materials that are harmful or non-biodegradable or based on non-renewable natural substances, chemically synthesised from a biological material or entirely biosynthesised by living organisms (Smith, Moxon and Morris, 2016). For this reason, it is essential to define 'bio-based circular materials': they are materials designed from a natural base – virgin or waste organic resources, microorganisms or substances produced by them – that at the end of

their life ensure total biodegradability and/or compostability, or recycling, as they do not contain chemical additives and solvents harmful to humans and the environment. As far as possible, these materials should be developed using renewable and local resources, promoting values related to sustainability and connection with the community that produces them.

If there are many examples of materials developed in recent years that fall under the above definition, what steps have been taken for their production and commercialisation? What skills have been employed? Which channels are used for the presentation and distribution of products? What certifications do they have? To these and other questions this paper (which refers to the first results of a research project entitled 'Narrowing the gap to biomaterials – Biomaterials applications for a circular approach within the furniture industry and domestic market'<sup>1</sup>) will try to give answers. Although there is a literature that highlights the role of designers as promoters of the transition to CE, through DIY practices for the development of bio-based materials (Rognoli et alii, 2015; Asbjørn Sørensen and Thyni, 2020; Ayala-Garcia and Rognoli, 2017), there is a lack of research activities on bio-based circular materials that have moved beyond the experimental phase reaching the production and distribution phase of design-driven materials and products.

**Research methodology** | In order to advance the understanding of the complexity of the phenomenon after an analysis of the scientific literature, a thematic study of the grey literature<sup>2</sup> was carried out to identify case studies to be investigated. Forty case studies were selected (Tab. 1) in the European context and associated Countries. The selection includes SMEs – ranging from small design studios to manufacturing companies – identified as 'creative industries' (Throsby, 2008) that produce bio-based circular materials and related products, objects of daily use and interior compo-

nents. Data were selected and collected only from those cases that have passed the testing phase, reached the production phase and are in the sales & distribution phase on the market, so as to include, in an indirect way, also the expectations and values of sustainability possessed by the objects, as well as recognised and appreciated by consumers-users (Kumar and Noble, 2016). A semi-structured questionnaire with open-ended questions and rating scales was prepared to understand motivations and precise views (Wilson, 2014) taking into account a set of criteria based on a precise theoretical framework as defined by Eisenhardt (1989).

The survey was carried out by administering the online questionnaire to the owners of the companies or the heads of their research and development departments (42 respondents in total). The questionnaire is made up of four sections: 1) General information on company organisation, skills possessed, participation in trade fairs and events and project development timeframes; 2) Questions on materials and their sustainability, production technologies, used raw materials, tests for certifications and with consumers/users; 3) Questions on products, product type, certifications and tests with users, distribution and service channels; 4) Future perspectives, needs and missing skills for the development of new projects and products. For the sake of brevity, the results of the survey are reported concerning five case studies that are considered emblematic because they include the characteristics common to most of the analysed cases.

**Case studies** | Miyuca<sup>3</sup> (Figg. 1-3) is a studio in Bressanone (Italy), which designs and handcrafts objects with a new composite material called LAAB, developed in-house and based on urban green waste, deciduous leaves, with the addition of a resin of natural origin. In nature, leaves decompose, turning into nutrients for the soil, which in urban areas is extremely limited by the cement-

ing of the soil and requires that the clippings be collected. Hence the idea of using this natural waste to create a new material from agglomerated leaves. The production process involves collecting the leaves, drying them, shredding them, adding resin, shaping them in wooden moulds, demoulding and finishing. The designer has developed a series of semi-finished products with which she produces table bases and some lamps. Among the various objects is a series of lamps, selected for the German Design Award 2019 and the Green Product Award 2019, which exploit the aesthetic qualities of transparency of the compound and the variation in the colours of the leaves. All lamps are CE-certified for electrical appliances.

KeepLife<sup>4</sup> of Caserta (Italy) has been producing since 2017 a composite material of wooden nature, mouldable and self-hardening, using hazelnut, walnut, almond, pistachio, peanut, and chestnut shells, with the addition of lignin and without fillers, solvents or formaldehyde. The company has favoured local resources such as the scrap of IGP-certified Irpinia hazelnuts and Apulian almonds, as well as Sardinian almonds and Sicilian pistachios. The production phases range from the selection and sizing of the shells to controlling the degree of humidity, which influences the final characteristics of the product; this is followed by the addition of lignin, shaping in special moulds and drying at controlled humidity.

The products can be obtained by hydraulic press moulding and further processed with common joinery tools. The physical and chemical properties are comparable to chipboard and depend on the raw materials selected and mixed in specifically patented formulations. In addition to six materials corresponding to the raw materials, the company produces a line with four different colours: 'giallo tufo', 'bianco fiano', 'nero vesuvio' and 'rosso pompeiano' using pigments derived from local soils. In addition to its partnership with the local territory and local manufacturing communities, the company has set up collaborations with national and international designers (Fig. 4), such as Matali Crasset (Fig. 5), Sovrappensiero Design and Studio Irvine. The company attracted a community of young creatives with whom it designs, produces household objects and complements that it markets through its website.

Ottan<sup>5</sup> (Fig. 6-8) is a company located in Istanbul (Turkey) founded by Ayse Yilmaz; established in 2016, it now boasts numerous collaborations with engineers, designers and marketing experts. The first step for Ottan was the development of an advanced organic waste recycling technology, thanks to the partnership with the waste management company Fazla Gida and small producers in the area. Ottan sells semi-finished products in panels from 2-3 mm up to 2 cm thick, produced from food and agricultural waste or clippings and prunings that it uses as aggregates and agglomerates adopting binders of natural origin. The material can be shaped by injection moulding of bulk material or by layering. The semi-finished products thus obtained can be milled, cut and planed. The catalogue currently contains twenty different products for interior cladding.

Six years after production, the panels have not changed their chemical-physical and aesthetic characteristics; those tested for outdoor use, which are not yet marketed, are resistant to water

and UV rays. During the interview, the company acknowledged the difficulties – declared to be of medium level – encountered in the research and development of the product. Thanks to the wide variety of surface effects, patterns, colours, finishes and processes in the catalogue, Ottan is receiving great appreciation from the target market, and in particular from architects and interior designers in the UK. With no recognised certification at the moment, Ottan is taking the first steps towards digitalisation. Furthermore, it is incorporating an integrated AI, IoT and Machine Learning systems to automatically calculate the carbon footprint for each item from production to shipping. Through its website, Ottan also sells a small collection of furnishings, to bring the material to a wider audience.

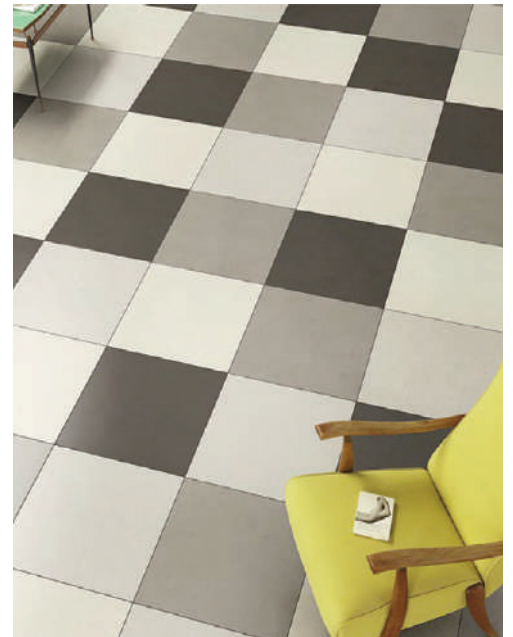
Mogu<sup>6</sup> is one of the few companies in Europe, based in Varese (Italy), that produces and markets mycelium-based products for the interior design market. The company's most famous product is Acoustic (Fig. 9-12), an acoustic panel produced from a substrate of organic material (waste from agro-industrial production and cotton and straw fibres) colonised by the spores of a fungus and made compact in the moulds by its radical part, the mycelium. The company, born from Montalti's ideas and research, after a long period of experimentation and refinement of the production process, now employs more than 30 people including designers, mycologists, chemists and engineers (Montalti, 2017).

Many difficulties had to be overcome in this unprecedented research to define the compatibility of the base materials with the mycelium and the dosages of the components in the mixtures (quantity and density of the fibres suitable for the strength and desired quality, temperatures and humidity suitable for the growth of the mycelium in the moulds, etc.). The fungus takes different amounts of time to proliferate and colonise the substrate depending on the fibres used as a base and, at the end of the growth process, the resulting panel is placed in special ovens to stop proliferation and dry the product. At a later stage, the product is shaped and refined with specific paints. The material has excellent acoustic and fire resistance properties (class bs2d0) and good mechanical properties. It feels similar to velvet, with a compact fibrous texture and slight surface waviness. Another characteristic is the good ageing capacity since, if not exposed to high humidity, it keeps its physical and mechanical qualities intact. At the end of its life, panels without a surface finish are compostable, while painted panels can be disassembled and reused as fibres. The material has been tested by potential users to understand its acceptance and reactions, and to define its surface effects.

Over the years, Mogu has received a series of European grants that have enabled it to develop and study the identification of its target markets. Today, in addition to the acoustic panels offered in a wide variety of shapes, configurations and models, obtained also thanks to parametric modelling and robotized production, the company catalogue offers other products such as Floor Flex, Floor Tiles (Fig. 13) and Ephea™ (Fig. 14): the first two products are floor coverings and tiles obtained from 67% bio-based material with a formulation based on waste resources (from shells to

coffee grounds), without solvents and completely recyclable; the third product is an alternative skin to animal skin, also derived from mycelium.

Finally, it is reported the case of Coffeefrom<sup>7</sup>, a project created as a spin-off from a social cooperative in the province of Milan (Italy) with the aim of implementing the principles of Extended Producer Responsibility. Coffeefrom is a trademarked bisphenol-free material made from coffee waste from local producers, whose production process – completely industrialised thanks to the creation of a special production chain that allows standardisation, avoiding pilot phases – involves drying the spent coffee powder and then adding polylactic acid. The development of the material, which took two years of testing and modifications of the



**Fig. 13** | Floor Tiles, floor tiles, design by Mogu (source: mogu.bio, 2022).

**Fig. 14** | Ephea, mycelium leather, design by Mogu (source: mogu.bio, 2022).

**Fig. 15** | Coffeefrom, coffee cup, design by Coffeefrom (credit: Coffeefrom, 2022).

injection moulding process, has enabled the production of objects suitable for containing food such as cups, glasses and packaging (also on commission) certified for contact with food, all marketed through an online store.

Although a teacup is also being developed at the moment, the flagship product is a coffee cup and saucer (Fig. 15) through which the company intends to emphasise the nature of the production material. The material is smooth to the touch and dark brown in colour, reminiscent of the raw material; it has good mechanical strength and can be washed at temperatures of up to 50 °C. The company is working on the development of a mechanically and thermally more resistant material, which makes it possible to reduce thicknesses, favouring biodegradability and resistance to heat. The production cycle is also being perfected to reduce the environmental footprint measured with the LCA methodology.

**Discussion** | The analysis of the case studies offers an overview, albeit fragmented, of a promising emerging reality, productively diversified, made up of dynamic companies that have reached different stages of development but are nonetheless relevant for their achievements in terms of production, marketing and distribution of innovative and bio-based materials and circular products. Thanks to the interviews, the significant elements that characterise this design-driven reality were identified and are reported below.

**Geographical Distribution.** Although the research was carried out taking into account the European territory and associated countries, the presence of these entrepreneurial realities is concentrated in Germany, Italy and the Netherlands. The Italian territory contributes with a conspicuous number of case studies, interesting both for the type of materials and designed products and for the qualitative level reached in the business development, as also demonstrated by the document 100 Italian Circular Economy Stories 2021 (ENEL and Symbola, 2021).

**Creative Mindset and Multidisciplinary Teams.** In the case studies, the idea of the material is guided by the creative approach in observing reality according to new parameters, i.e. starting from available resources, and rediscovering poor and waste materials to enhance them. The experimental approach to techniques on the part of designers who have been involved in the development of materials is fundamental, as is the determination that has driven them to go beyond experimentation to continue in the production and marketing phases. However, the need, and often the difficulty, to seek multidisciplinary skills from chemical, mechanical, and management engineering to experts in sustainability, is highlighted. They are fundamental for the development of the material, the identification of standardised production processes, and the stabilisation of the chemical and physical characteristics of the materials. In fact, in the case studies, those who have been able to produce and distribute their products have created multidisciplinary teams in which experts in chemistry, marketing, engineering, biology and physics collaborate, guided by creativity and circularity.

**Product categories.** Material research, as a design focus, directs the aesthetics and merchandise choice of the products to be produced, in or-

der to reach a wide audience of users and increase their acceptance and choice. All the case studies reported make skilful use of the ability to narrate the product from the material. Miyuca focuses on sensory qualities, transparencies and colour palettes linked to the base materials and Ottan on grain sizes, colour range and patterns enhancing the raw materials. Coffeefrom has chosen the strategy of producing objects from coffee to enjoy the drink and KeepLife exploits the link with the territory through typical colours and finishes of the production context.

**Link with the Territory and Local Communities.** In most cases, there is a strong link between productive activity and territory. This can be seen in KeepLife and Ottan. In KeepLife the choice of raw materials is defined on the basis of local production, reducing transport and facilitating the supply chain, while Ottan has conducted a study of territorial resources to differentiate itself from possible competitors. In KeepLife, the design/territory binomial also extends to the field of semi-finished products, involving a network of young designers in product design. Circularity is not only a 'material' but also a 'social' issue to develop social innovation (i.e. innovation of the local workforce and material culture), but it is also motivated by minimising the use of energy and primary resources and reducing production costs. At the same time, these creative companies use design to give international visibility to the products of a specific territory and its aesthetic identity.

**Variation in the level of craftsmanship and industrialisation.** The case studies present many differences in terms of production. While Miyuca produces exclusively by hand material of great aesthetic quality applied to small collections, Mogu is characterised by a highly specialised structure in design, a high level of technological innovation applied to the design and a variety of products in the catalogue, although the production process presents a low level of industrialisation, with hand-crafted phases and long lead times, for example in the shaping and growth of the mycelium. The same is true for the production process of KeepLife's products, particularly in the forming and drying phases of the materials, whereas Coffeefrom can boast a highly industrialised production process, on a par with any other industrial production with conventional thermoplastic polymers. This results in a very diverse range of targets.

**Patents, Certifications, Financing and Development Models.** The case studies have gone through long periods of research to achieve certifications attesting to their origin, low environmental impact and safety in relation to their use. Given the particularity of the materials and production processes, in 75% of the cases, forms of brand protection were activated through their registration or patents. From the interviews it emerged that several companies participated in European calls for tenders to acquire funds for the development of their projects, demonstrating that the promotion and incentivisation by public institutions are fundamental for the development of new productive activities related to CE. In general, the case studies show that bottom-up strategies have enabled new realities to scale up innovation in a less risky and more sustainable way by pursuing research and development of materials and products with a 'user satisfaction centred' approach to

acquire larger market shares allowing a real sustainable and circular practice.

**Conclusion** | The contribution presents the results of the first phase of a research project that aims to trace the state of the art of designers and companies produced with the objective of creating, developing and distributing sustainable materials and products with a circular and design-driven approach, highlighting strategies, needs and difficulties encountered. This is just one part of a wider system made up of productive realities, each with its specificities, linked to the territory they belong to and capable of creating innovation by combining planning skills and environmental needs with typical design approaches. However, the first phase of the research highlights a new productive reality, born from the creativity of designers who interpret the environmental emergency and have turned the principles of circularity into a form of business.

The collected data made it possible to define the main characteristics of the companies, materials and products, the communication methods, the approaches and specialists involved, the qualities and certifications held, the production processes and distribution channels, but also to reconstruct the company history, developments, difficulties, limits and peculiarities. The research continues with the collection of case studies and related data to provide a snapshot of a trend that deserves to be studied and understood. In the following phases, an attempt will be made to understand methods and tools to reach users and increase the value and acceptance of an increasingly wide audience. The data collected and systematised will contribute to a full understanding of strategies and development models, taking into account other actors currently involved in industrial development such as incubators, consultancies, foundations and development agencies.

## Notes

1) The research is carried out within the XXXVII cycle of the PhD Program in Design of the Politecnico di Milano, in connection with the themes developed in the MADEC Centre, Centre of Competence in Material Design Culture.

2) The research was carried out through online material using the keywords 'biobased material', 'material design', 'biomaterial', 'circular material', 'circular economy', 'sustainable material'. Online magazines, blogs and webpages were consulted including Salone del Mobile, Dezeen, Designboom, Domus, Interni, Inhabitat, and Core 77. The online pages of the following material libraries were also consulted Materialconnexion, Materially, Future Materials Bank and Material District. Instagram and LinkedIn were also used for the research.

3) For more information, see the webpage: miyuca.it [Accessed 15 April 2022].

4) For more information, see the webpage: keeplife.it [Accessed 15 April 2022].

5) For more information, see the webpage: ottanstudio.com [Accessed 15 April 2022].

6) For more information, see the webpage: mogu.bio [Accessed 15 April 2022].

7) For more information, see the webpage: coffeefrom.it [Accessed 15 April 2022].

## References

- Asbjørn Sørensen, C. and Thyni, E. (2020), "A qualitative study of the challenges faced by material designers when developing DIY-materials", in Lyndon, B. Bohemia, E. and Grierson, H. (eds), *The Value of Design & Engineering Education in a Knowledge Age – Proceedings of the 22nd International Conference on Engineering and Product Design Education, VIA Design, VIA University in Herning, Denmark, 10th-11th September 2020*, pp. 1-6. [Online] Available at: doi.org/10.35199/EPDE.2020.76 [Accessed 15 April 2022].
- Ayala-Garcia, C. and Rognoli, V. (2017), "The new aesthetic of DIY-materials", in *The Design Journal*, vol. 20, issue sup. 1, pp. S375-S389. [Online] Available at: doi.org/10.1080/14606925.2017.1352905 [Accessed 15 April 2022].
- Ayres, R. U. (1998), "Industrial metabolism – Work in progress", in Bergh J. C. J. M. and Hofkes M. W. (eds), *Theory and Implementation of Economic Models for Sustainable Development*, Springer, Netherlands, pp. 195-228. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-94-017-3511-7\_10 [Accessed 15 April 2022].
- Bakker, C. A., den Hollander, M., van Hinte, E. and Zijlstra, Y. (2014), *Products that last – Product design for circular business models*, TU Delft Library, Delft. [Online] Available at: research.tudelft.nl/en/publications/products-that-last-product-design-for-circular-business-models [Accessed 15 April 2022].
- Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C. and van der Grinten, B. (2016), "Product design and business model strategies for a circular economy", in *Journal of Industrial and Production Engineering*, vol. 33, issue 5, pp. 308-320. [Online] Available at: doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124 [Accessed 15 April 2022].
- Camere, S. and Karana, E. (2018), "Fabricating materials from living organisms – An emerging design practice", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 186, pp. 570-584. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.081 [Accessed 15 April 2022].
- Ceschin, F. and Gaziulusoy, I. (2016), "Evolution of design for sustainability – From product design to design for system innovations and transitions", in *Design Studies*, vol. 47, pp. 118-163. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.destud.2016.09.002 [Accessed 15 April 2022].
- Chapman, J. (2009), "Design for (Emotional) Durability", in *Design Issues*, vol. 25, issue 4, pp. 29-35. [Online] Available at: doi.org/10.1162/desi.2009.25.4.29 [Accessed 15 April 2022].
- Crabbé, A., Jacobs, R., Van Hoof, V., Bergmans, A. and Van Acker, K. (2013), "Transition towards sustainable material innovation – Evidence and evaluation of the Flemish case", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 56, pp. 63-72. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.01.023 [Accessed 15 April 2022].
- De los Rios, I. C. and Charnley, F. J. S. (2017), "Skills and capabilities for a sustainable and circular economy – The changing role of design", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 160, pp. 109-122. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.130 [Accessed 15 April 2022].
- Dumée, L. F. (2022), "Circular Materials and Circular Design – Review on Challenges Towards Sustainable Manufacturing and Recycling", in *Circular Economy and Sustainability*, vol. 2, pp. 9-23. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s43615-021-00085-2 [Accessed 15 April 2022].
- Eisenhardt, K. M. (1989), "Building Theories from Case Study Research", in *The Academy of Management Review*, vol. 14, n. 4, pp. 532-550. [Online] Available at: doi.org/10.2307/258557 [Accessed 15 April 2022].
- ENEL and Symbola (2021), *100 Italian Circular Economy Stories 2021*. [Online] Available at: bit.ly/3lq5b5y [Accessed 15 April 2022].
- European Commission (2020), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A new EU Circular Economy Action Plan for a cleaner and more competitive Europe*, document 52020DC0098, 98 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN [Accessed 15 April 2022].
- Ferrara, M. (2021), "Circular Material for Creative Industries – The Emerging Bioplastics", in Cléries, L., Rognoli, V., Solanki, S. and Llorach, P. (eds), *Material Designers – Boosting talent towards circular economies*, pp. 52-59. [Online] Available at: materialdesigners.org/wp-content/uploads/2021/03/MaDe-Book-1.pdf [Accessed 15 April 2022].
- Ferrara, M. (2017), "Shifting to Design-Driven Material Innovation", in Ferrara, M. and Ceppi, G. (eds), *Ideas and the Matter – What will we made of and will the world be made of?*, ListLab, Trento, pp. 173-185. [Online] Available at: researchgate.net/publication/328874643\_SHIFTING\_TO\_DESIGN-DRIVEN\_MATERIAL\_INNOVATION [Accessed 15 April 2022].
- Kottaridou, A. and Bofylatos, S. (2019), "Design out waste methodology for circular economy", in Markou-poulou, A. (ed.), *Responsive Cities – Disrupting through circular desing – Symposium Proceedings 2019*, Institut d'Arquitectura Avançada de Catalunya, Barcelona, pp. 204-217. [Online] Available at: iaac.net/wp-content/uploads/pdf/RCS\_19\_Proceedings.pdf [Accessed 15 April 2022]. [Accessed 15 April 2022].
- Kumar, M. and Noble, C. H. (2016), "Beyond form and function – Why do consumers value product design?", in *Journal of Business Research*, vol. 69, issue 2, pp. 613-620. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jbusres.2015.05.017 [Accessed 15 April 2022].
- Liedtke, C., Baedeker, C. and Borrelli, L. M. (2015), "Transformation Towards a Sustainable Society – Key Intervention Areas", in *Innovative Energy Policies*, vol. 4, issue 2, article 1000117, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.4172/ier.1000117 [Accessed 15 April 2022].
- Mesa, J., Esparragoza, I. and Maury, H. (2018), "Developing a set of sustainability indicators for product families based on the circular economy model", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 196, pp. 1429-1442. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.131 [Accessed 15 April 2022].
- Milios, L. (2018), "Advancing to a Circular Economy – Three essential ingredients for a comprehensive policy mix", in *Sustainability Science*, vol. 13, issue 3, pp. 861-878. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s11625-017-0502-9 [Accessed 15 April 2022].
- Montalti, M. (2017), "The growing lab – Fungal futures", in Ferrara, M. and Ceppi, G. (eds), *Ideas and the Matter – What will we made of and what will the world be made of?*, ListLab, Trento, pp. 71-90.
- Moreno, M., De los Rios, C., Rowe, Z. and Charnley, F. (2016), "A Conceptual Framework for Circular Design", in *Sustainability*, vol. 8, issue 9, article 937, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su8090937 [Accessed 15 April 2022].
- Morreale, M., Scaffaro, R., Maio, A. and La Mantia, F. P. (2008), "Mechanical behaviour of Mater-Bi®/wood flour composites – A statistical approach", in *Composites Part A – Applied Science and Manufacturing*, vol. 39, issue 9, pp. 1537-1546. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.compositesa.2008.05.015 [Accessed 15 April 2022].
- Murray, A., Skene, K. and Haynes, K. (2017), "The Circular Economy – An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context", in *Journal of Business Ethics*, vol. 140, pp. 369-380. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2 [Accessed 15 April 2022].
- Nigten, A. and Beekman, N. (2015), *A sense of green*. [Online] Available at: researchgate.net/publication/277917455\_A\_Sense\_of\_Green [Accessed 15 April 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 15 April 2022].
- Singh, J. and Ordoñez, I. (2016), "Resource recovery from post-consumer waste – Important lessons for the upcoming circular economy", in *Journal of Cleaner Production*, vol. 134, part A, pp. 342-353. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.020 [Accessed 15 April 2022].
- Smith, A. M., Moxon, S., and Morris, G. A. (2016), "Biopolymers as wound healing materials", in *Wound Healing Biomaterials*, vol. 2, pp. 261-287. [Online] Available at: doi.org/10.1016/B978-1-78242-456-7.00013-1 [Accessed 15 April 2022].
- Throsby, D. (2008), "From cultural to creative industries – The specific characteristics of the creative industries", in *Troisième Journées d'Economie de La Culture – Nouvelles Frontières de l'Economie de La Culture – Conférence Held at Musée Du Quai Branly, Paris, 2-3 October 2008*, pp. 1-11. [Online] Available at: jec.culture.fr/Throsby.doc [Accessed 15 April 2022].
- Wilson, C. (2014), *Interview Techniques for UX Practitioners*, Elsevier. [Online] Available at: doi.org/10.1016/C2012-0-06209-6 [Accessed 15 April 2022].
- World Economic Forum, Ellen MacArthur Foundation and McKinsey & Company (2016), *The new plastics economy – Rethinking the future of plastics*. [Online] Available at: emf.thirdlight.com/link/faarmdpz93ds-5vmvdf/@/preview/1?o [Accessed 15 April 2022].

