POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

La città che invita la natura. Progettare in collaborazione con il verde verticale / City that embraces nature. Designing with vertical greenery

Original
La città che invita la natura. Progettare in collaborazione con il verde verticale / City that embraces nature. Designing with vertical greenery / Comino, Elena; Molari, Matilde; Dominici, Laura. - In: AGATHÓN. - ISSN 2464-9309. - ELETTRONICO. - 9:(2021), pp. 112-123. [10.19229/2464-9309/9112021]

Availability:
This version is available at: 11583/2909752 since: 2021-06-28T14:50:30Z

Publisher:
Palermo University Press

Published
DOI:10.19229/2464-9309/9112021

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

19 April 2024

AGATHÓN – International Journal of Architecture, Art and Design | n. 09 | 2021 | pp. 112-123
ISSN print: 2464-9309 – ISSN online: 2532-683X | doi.org/10.19229/2464-9309/9112021

LA CITTÀ CHE INVITA LA NATURA
Progettare in collaborazione con il verde verticale

CITY THAT EMBRACES NATURE
Designing with vertical greenery

Elena Comino, Matilde Molari, Laura Dominici

Abstract

Il verde verticale offre la possibilità di ridefinire il rapporto tra costruito e vegetazione, promuovendo una concezione biofilica della città che mira a riattivare processi naturali e di coesione sociale. La flessibilità e la multifunzionalità di questi sistemi ne permettono l'applicazione in contesti molto differenti, vedendo negli spazi urbani inutilizzati luoghi alternativi adatti alla colonizzazione vegetale. Il presente contributo amplia il dibattito contemporaneo entro cui valutare la collaborazione tra uomo e natura esplorando possibilità funzionali volte a superare l'uso del verde verticale come solo ornamento. Gli approcci presentati alimentano la riflessione sul carattere interdisciplinare di questa tipologia di verde tecnologico, mostrando un'evoluzione della comprensione delle ricadute ambientali, sociali ed economiche a livello territoriale.

Vertical greenery offers the possibility of redefining the relationship between buildings and vegetation, promoting a biophilic concept of the city that aims to reactivate natural processes and social cohesion. The flexibility and multifunctionality of these systems allow their application in very different contexts, seeing unused urban spaces as alternative places suitable for plant colonisation. The present contribution expands the contemporary debate within which to evaluate the collaboration between man and nature by exploring functional possibilities aimed at overcoming the use of vertical greenery as mere ornamentation. The approaches presented feed the reflection on the interdisciplinary character of this type of technological green, showing an evolving understanding of the environmental, social and economic impacts at a territorial level.

Keywords

verde verticale, strategie di rivitalizzazione, biofilia, coesione sociale, ecologia urbana

vertical green, revitalisation strategies, biophilia, social cohesion, urban ecology

Elena Comino is an Associate Professor at the Department of Environmental, Land and Infrastructure Engineering (DIATI) of the Politecnico di Torino (Italy). Coordinator and Scientific Coordinator of the Applied Ecology Group (DIATI), she carries out research on the issues of environmental sustainability and the interaction of human activity on ecosystems. Mob. +39 338/50.57.326 | E-mail: elena.comino@polito.it

Matilde Molari, MSc in Systemic Design, is a PhD Candidate at the Department of Environmental, Land and Infrastructure Engineering (DIATI) of the Politecnico di Torino (Italy). She carries out research in the Applied Ecology Group, dealing with vertical greenery in outdoor contexts. E-mail: matilde.molari@polito.it

Laura Dominici is a PhD Candidate at the Department of Environmental, Land and Infrastructure Engineering (DIATI) of the Politecnico di Torino (Italy). She carries out research in the Applied Ecology Group, dealing with vertical greening systems in indoor contexts. E-mail: laura.dominici@polito.it

L'ambiente urbano si presenta come uno scenario singolare attraverso cui analizzare e osservare bisogni e desideri della società contemporanea. Il fenomeno di migrazione dalle campagne alle città, che ha coinvolto l'intera Europa per tutto il XX secolo, ha fatto sì che queste ultime subissero forti processi di urbanizzazione non sempre in grado di rispondere efficientemente ai bisogni reali dei cittadini. Il successivo processo di 'contro-urbanizzazione', che dagli anni Settanta ha visto in molte città d'Europa un progressivo ritorno alle campagne, ha messo in risalto come la vita dell'uomo oscilli tra la ricerca e il rifiuto della realtà urbana (Girard et alii, 2003). Carattere distintivo dell'attuale Antropocene è infatti la dicotomia tra città e natura, due dimensioni che non sembrano giocare ad armi pari: la prima fornisce strutture e servizi ai suoi abitanti contribuendo inevitabilmente a sottrarre spazi alla seconda. Questo fenomeno segmenta, indebolisce o interrompe i meccanismi regolatori degli ecosistemi, rendendo quindi necessario riconsiderare il conflittuale rapporto tra ambiente costruito e naturale (Neonato, Tomaselli and Colaninno, 2019).

In tempi recenti, la progettazione di spazi pubblici e infrastrutture pone maggiore attenzione all'integrazione tra processi naturali e ambiente urbano, promuovendo una rigenerazione basata sull'attivazione di nuove funzioni sociali e ambientali ascrivibili alla città (Perrone and Russo, 2019). A questo proposito offre uno spunto di riflessione l'installazione Infinity Forest Project a Sydney, realizzata nel 2009 dallo studio Scale Architecture. L'opera temporanea, un'oasi verde ricavata in un vicolo circondato da alti edifici e usata come scorciatoia dai lavoratori, esorta a considerare la possibilità di fruire di spazi inutilizzati reintroducendo elementi vegetali in grado di generare effetti positivi in coloro che frequentano abitualmente il luogo. È attraverso questo approccio che si ridefinisce il rapporto tra costruito e natura: un'invasione 'gentile' del verde nella maglia urbana (Zaffi and D'Ostuni, 2020) che imita i processi di colonizzazione naturale generalmente ostacolati dall'uomo.

Questo approccio 'biofilico' alla progettazione (Marshall and Williams, 2019) propone la vegetazione come strategia per riattivare processi resilienti all'interno di realtà densamente edificate (Forman, 2014). Il programma LUSH (Landscaping for Urban Spaces and High-rises) introdotto dalla città di Singapore nel 2009, è un valido esempio di come questo approccio possa essere adottato per dare forma a un Piano di sviluppo urbano in cui la natura diventa strumento stesso di progettazione. Il Programma sfrutta infatti la crescita del tessuto urbano per creare nuovi spazi di inverdimento attraverso l'adozione di diverse soluzioni di verde tecnologico. L'innovazione proposta vede l'utilizzo delle superfici verticali dei grattacieli come luoghi utili all'inserimento di elementi vegetali, promuovendo visioni progettuali che avvicinano sempre di più l'artificiale al naturale (Myers, 2018).

I sistemi di inverdimento verticale rispondono ai problemi della città contemporanea in modo flessibile e non invasivo ovviando alla scarsità di spazio al livello del suolo e reinterpretando uso e immagine della maglia edilizia. A partire dagli anni Novanta abbiamo assistito a una crescente popolarità di questi sistemi, comunemente noti come 'pareti verdi', grazie alla pionieristica ricerca di Patrick Blanc e del suo celebre Mur Végétal (Fig. 1; Bit, 2012). Innovazioni tecniche e formali hanno portato a un progressivo ampliamento dello sviluppo di queste tecnologie e della loro possibilità di applicazione in contesti dalle caratteristiche diversificate (Dunnet and Kingsbury, 2008). Le pareti verdi sono sistemi basati sulla natura costituiti da un elemento strutturale di ancoraggio a supporto della crescita della vegetazione, principalmente di tipo rampicante e arbustivo. Si tratta di tecnologie che sfruttano la componente vegetale per mitigare alcune criticità dell'ambiente urbano, riducendo la concentrazione di inquinanti gassosi, l'inquinamento acustico, l'effetto 'isola di calore' e agendo come supporto alla promozione della biodiversità urbana e al benessere psicofisico dei cittadini (Dover, 2015). L'utilizzo di questi sistemi vegetali nella pratica progettuale instaura un rapporto di 'co-costruzione' attraverso cui attivare risposte resilienti nel contesto urbano (Tesoriere, 2019).

Attraverso l'esplorazione di 16 casi studio il presente contributo offre uno sguardo contemporaneo alle possibilità del verde verticale quale elemento polifunzionale in grado di generare ricadute positive all'interno del tessuto urbano. La trattazione è suddivisa in tre sezioni utili ad ampliare il contesto entro cui valutare l'azione del verde verticale. Inizialmente vengono presentati casi in cui questa tecnologia è impiegata a livello infrastrutturale come 'strumento' per la riattivazione di processi regolatori su scala locale. A seguire il punto di vista si sposta sulle ricadute a livello sociale nell'impiego del verde verticale quale 'strategia' di coinvolgimento e coesione sociale. L'ultima sezione esplora l'integrazione dell'elemento vegetale nell'architettura e nei materiali da costruzione quale espediente per affrontare il degrado ambientale (Ratti and Belleri, 2020). Quest'ultima sezione introduce la possibilità di attivare processi virtuosi sul territorio al fine di ottenere sistemi di inverdimento verticale che sfruttino le risorse locali e che stimolino il dialogo tra la ricerca e le imprese.

Per offrire una riflessione sul rapporto natura-costruito che superi una visione 'verdolatrica' (Bellini and Mocchi, 2017) il contributo evidenzia le relazioni che i sistemi di verde verticale instaurano con il territorio dal punto di vista della sostenibilità ambientale e delle dinamiche sociali (Tesoriere, 2020) mentre i contenuti esposti invitano a riflettere sulle potenzialità della progettazione sinergica con la vegetazione nel contesto urbano, una pratica che richiede di rafforzare il dialogo interdisciplinare tra ricerca, industria, ecologia e scienze sociali (Liu et alii, 2007) al fine di ottenere risultati effettivi.

Metodologia | Il presente saggio presenta una selezione di 16 progetti significativi nella loro azione di reinterpretazione delle superfici del tessuto urbano volta a ristabilire una connessione tra l'ambiente costruito e la rete dei processi ambientali e sociali della città (Tab. 1). I contesti urbani analizzati sono di media-grande dimensione, a scala nazionale e internazionale, e in differenti fasce climatiche al fine di offrire uno sguardo ampio sulle diverse declinazioni dei sistemi di inverdimento verticale. L'arco temporale in esame comprende gli ultimi vent'anni, periodo in cui si riscontrano metodologie e obiettivi progettuali condivisi che hanno portato alla sperimentazione di soluzioni innovative.

I progetti sono suddivisi in tre categorie secondo le opportunità offerte dal punto di vista dei benefici ambientali e dell'attivazione di nuovi spazi per la socialità, mostrando un superamento della semplice funzione estetica del verde. L'analisi esplorativa considera le soluzioni tecniche adottate dai sistemi di inverdimento verticale per favorire la rifunzionalizzazione dell'infrastruttura grigia, la creazione di benefici dal punto di vista del benessere psico-fisico e sociale della comunità locale e l'integrazione sostenibile tra edificio e ambiente (Fig. 2).

Benefici ambientali del verde verticale: prospettive per lo sviluppo di infrastrutture verdi | Grazie alla crescente collaborazione tra ricerca scientifica e aziende nella sperimentazione e quantificazione dei benefici ambientali si è consolidata sempre di più la funzione del verde verticale nel mitigare condizioni di inquinamento attraverso i processi fisiologici della vegetazione. Sul piano realizzativo alcuni progetti hanno smesso di guardare all'edificio come unico sito di applicazione, volgendo invece l'attenzione verso il complesso sistema delle infrastrutture urbane (Medl et alii, 2015).

Il progetto Vía Verde di Città del Messico, realizzato nel 2019 dall'architetto Fernando Ortiz Monasterio dell'azienda Verde Vertical, prevede la copertura di più di mille pilastri che sostengono l'autostrada sopraelevata dell'Anillo Periférico con pareti verdi. Il progetto ha l'obiettivo di 'catturare' e ridurre la concentrazione di inquinanti gassosi emessi dall'intenso traffico veicolare concentrato in una delle arterie autostradali più utilizzate dell'America Latina. La dimensione dell'intervento ha portato i progettisti a riflettere sull'impatto ambientale delle componenti del verde verticale: nonostante la considerevole richiesta idrica del sistema idroponico utilizzato, l'impatto negativo della struttura viene bilanciato impiegando uno strato di accrescimento vegetale a base di feltro ottenuto da plastica riciclata. Una medesima applicazione di verde verticale si riscontra anche nell'installazione del 2019 ad opera dell'azienda londinese Biotecture lungo l'infrastruttura di Millbrook Roundabout a Southampton. Anche in questo caso l'obiettivo è mitigare le alte concentrazioni di inquinanti atmosferici come l'anidride carbonica, l'ozono, il biossido di zolfo e di azoto e il particolato atmosferico sfruttando l'attività fotosintetica di determinate specie vegetali. All'interno delle dieci pareti verdi a sistema idroponico sono state inserite diciassette essenze differenti, tra cui l'Euonymus, il Convolvulus cneorum e l'Acorus gramineus la cui morfologia fogliare permette di catturare elevate quantità di PM10.

La sperimentazione sulle opportunità di applicazione del verde verticale consente di attribuire nuove funzioni all'infrastruttura stradale, come nel caso del Piano di riconversione del

Fig. 1 | Mur Végétal in Halles by Patrick Blanc, 2006 (source: wikipedia.org, 2016).

viadotto Minhocão a São Paulo a firma dello studio franco-brasiliano Triptyque Architecture nel 2015. Il progetto, ideato in collaborazione con l'architetto paesaggista Guil Blanche, prevede l'uso di verde verticale e pensile a integrazione della struttura di sostegno di un tratto del sottopasso autostradale. Anche in questo caso la scelta della vegetazione è un aspetto fondamentale della proposta progettuale: le pareti verdi di tipo rampicante sono costituite in gran parte da Hedera helix, specie vegetale che ha dimostrato buone capacità di assorbimento del particolato atmosferico PM10 (Sternberg et alii, 2010).

È proprio sulla base dei risultati ottenuti nell'ambito della ricerca scientifica che negli interventi effettuati dall'azienda australiana Junglefy vengono messe in atto soluzioni volte a migliorare il controllo della qualità dell'aria (Pettit, Irga and Torpy, 2020). La stretta collaborazione tra l'azienda e la ricerca accademica si concretizza negli interventi di inverdimento verticale realizzati a Sydney presso un tratto dell'autostrada Transurban Easter Distributor nel 2019 e nel parcheggio di interscambio del Distretto di Manly Vale nel 2018. Nel primo caso, i moduli di parete verde (composti da diverse specie vegetali, tra le quali Westringia fruticosa, Nandina domestica, Dichondra repens) sono installati lungo i guardrails autostradali (Fig. 3) ed equipaggiati di sensori per il monitoraggio della qualità dell'aria al fine di procedere con una raccolta dati e la successiva divulgazione di un business case utile a promuovere i benefici nell'impiego di verde tecnologico (Zupancic, Westmacott and Bulthuis, 2015).

Un altro intervento ha visto l'installazione sull'intera facciata dell'edificio di un sistema vegetale che agisce da filtro naturale tra l'interno e l'esterno per il miglioramento della qualità dell'aria, composto da 27 specie vegetali native ed esotiche, tra le quali la Lomandra tanika, la Viola hederacea e altre come la Westringia fruticosa che hanno la capacità di attirare insetti impollinatori (Fig. 4). Entrambe i casi forniscono una risposta al problema della manutenzione, una fase critica nella gestione del verde verticale che risiede nella flessibilità stessa del sistema di poter essere inserito in aree dove lo spazio a disposizione è limitato: nei due interventi i sistemi possono ruotare di 180° permettendo l'accesso alla vegetazione senza la necessità di disassemblare il supporto. L'implementazione della componente strutturale è una pratica delicata; qualsiasi modifica dovrebbe assicurare un'elevata resistenza non richiedendo ulteriori e frequenti interventi di manutenzione.

Anche l'installazione nel 2011 della parete verde presso la stazione Bakerloo Line in Edgware Road a Londra, opera dell'azienda Biotecture, è stata effettuata con l'intento di mitigare la concentrazione di particolato atmosferico in uno snodo critico dal punto di vista della qualità dell'aria a causa dell'assenza di aree verdi circostanti (Fig. 5). I sistemi di inverdimento verticale sono utili strumenti in grado di ridurre la concentrazione di PM10 in aree particolarmente critiche a causa della loro conformazione a 'canyon urbano' che rende più complessa la dispersione degli inquinanti gassosi (Abhijith et alii, 2017). Il progetto, che occupa una superficie di 180 metriquadri, richiede interventi di manutenzione mensile al fine di ospitare e mantenere in vita 14.000 piante appartenenti a 15 specie differenti dalle caratteristiche fogliari adatte a una consistente cattura di PM10.

I progetti sopra citati esplicano come si possa intraprendere una transizione verso l'adozione di 'infrastrutture verdi' attraverso l'integrazione di elementi vegetali che contribuiscono a migliorare la qualità della vita, e in particolare dell'aria, in contesti urbani. Spostando l'attenzione dai bisogni dell'uomo, la parete verde si presenta anche come strumento in grado di promuovere la biodiversità di flora e fauna sfruttando le caratteristiche dell'ambiente urbano. È questo il caso del sistema modulare Perfect Pollinator (realizzato a Londra nel 2016 da Scotscape Landscaping Ltd. Bug Life e Wildlife World) che, attraverso una selezione di specie floreali, offre un habitat adatto a ospitare insetti impollinatori. L'impiego diffuso di queste pareti verdi propone una riattivazione dei processi di impollinazione al fine di combattere la perdita di specie floreali e di attuare azioni di 'riconciliazione' che reintegrino la biodiversità attraverso l'inverdimento dell'ambiente antropico (Francis and Lorimer, 2011).

Dai progetti presentati si evince come il verde verticale venga maggiormente impiegato per rispondere a inquinamento antropico localizzato ma si tratta di interventi i cui costi elevati di installazione e gestione ne rendono ancora limitato l'utilizzo, presentandosi spesso come un investimento non sufficientemente attendibile nelle prestazioni. L'utilizzo della vegetazione per mitigare le concentrazioni di inquinanti in aree ad alto traffico veicolare (Defilippi Shinzato et alii, 2019) è infatti una risposta di compensazione che non agisce però alla fonte del problema. La scelta della vegetazione, che deve essere appropriata per la fascia climatica nella quale si inserisce il sistema, si presenta come aspetto cardine per sostenere in modo efficiente la capacità del verde verticale di produrre benefici ambientali; contemporaneamente risulta necessario sviluppare una maggiore conoscenza progettuale sulla percezione del verde tecnologico da parte dell'utenza al fine di innescare riflessioni e comportamenti consapevoli.

Aspetti sociali del verde verticale: ristabilire un rapporto con la natura | La presenza di vegetazione in ambiente urbano è un elemento indispensabile anche per garantire il benessere psicofisico dei suoi cittadini (Dobson et alii, 2021). A seguito dei recenti avvenimenti, il mondo accademico ha iniziato a considerare con crescente interesse le implicazioni del rapporto uomo-natura sulla salute delle persone, contribuendo ad analizzarne con maggiore attenzione le conseguenze dal punto di vista sociale e relazionale (Pérez-Urrestarazu et alii, 2021), quindi le realtà presentate in questo paragrafo esplorano le strategie che il verde verticale adotta al fine di promuovere coesione sociale sul territorio.

All'interno di questa cornice, il Programma Green Your Laneway, sostenuto dalla Città di Melbourne nel 2016, propone un Piano di rigenerazione volto al recupero di una fitta rete di vicoli, scarsamente utilizzati a causa dell'elevato effetto 'isola di calore' che rende il luogo poco confortevole. Attraverso la progettazione partecipata dei cittadini, l'iniziativa prevede interventi volti all'inserimento di vegetazione come soluzione per migliorare il controllo delle condizioni microclimatiche e il comfort termico. Grazie all'installazione di diverse tipologie di verde verticale – dalle facciate verdi ai sistemi a

irrigazione idroponica – le strade sono diventate nuovi centri di attrazione e socialità (Fig. 6). Il Programma, tuttora attivo, promuove attività e interventi che mirano alla creazione dell'identità locale e al coinvolgimento della comunità al fine di attuare una ri-appropriazione di spazi inutilizzati. Questo processo promuove nuove relazioni e dinamiche (Manzini, 2018) attraverso una prospettiva 'bottom-up' che vede nella flessibilità dei sistemi di inverdimento verticale uno strumento di facile attuazione per la rifunzionalizzazione di spazi dimenticati.

Ne è rappresentativo il caso del Coal Loader Cottage Community Garden, un'Associazione cittadina che ha recuperato il sito post-industriale di Waverton (Australia) attraverso la realizzazione nel 2007 di un Centro Polifunzionale dedicato alla sostenibilità che ospita un orto urbano collettivo. Il progetto è stato concepito nel 2005 e ha visto la collaborazione tra Amministrazione e Comunità locale nella fase di pianificazione e progettazione: in questo caso, diverse tipologie di pareti verdi modulari sono state progettate e installate al fine di sperimentare sistemi di raccolta e fitodepurazione dell'acqua piovana e orti verticali per la coltivazione di erbe, piccoli ortaggi e frutti, evitando l'uso di suolo che in un'area post-industriale necessiterebbe di bonifica.

L'esperienza del Coal Loader Community Garden è particolarmente significativa in quanto fornisce l'opportunità alla Comunità locale di sperimentare e progettare sistemi di inverdimento verticale utilizzando materiali di recupero e a basso costo, aspetto che risulta essere indispensabile nel processo di avvicinamento e comprensione da parte dei cittadini delle potenzialità offerte dalle varie tipologie di pareti verdi. Infatti, nonostante l'utenza e i fruitori abbiano generalmente una percezione positiva nei confronti del verde verticale (Maron and Ramirez, 2020), in alcuni casi permane l'opinione diffusa di una tecnologia che richiede complesse e onerose azioni di gestione e manutenzione. Esperienze come quella proposta dal Coal Loader Community Garden, dallo studio Openspace per lo spazio collettivo One Century Community presso Klong 3 a Bangkok nel 2011 e da Akinwolemiwa et alii (2018) sottolineano la possibilità di avvicinare la comunità locale alle opportunità offerte dai sistemi di inverdimento verticale attraverso un approccio 'community-driven'.

Il verde verticale viene spesso concepito anche come strumento per la rigenerazione di archeologie industriali al fine di restituirne gli spazi alla cittadinanza. La realizzazione del Parco MFO a Zurigo, ad opera di Burckhardt+ Partner e Raderschallpartner nel 2002, ha previsto la riqualificazione dello scheletro strutturale in acciaio zincato posizionato all'interno del complesso edilizio della ex Maschinenfabrik Oerlikon, storica azienda di macchine, armi e locomotive elettriche. Inserito all'interno di un sistema di quattro parchi realizzati per il nuovo Centro residenziale della zona, l'intervento vede la copertura dell'intera struttura con 1.200 diversi tipi di piante rampicanti ridefinendo l'aspetto estetico e la percezione dello spazio del Padiglione: la vegetazione viene qui impiegata per creare uno spazio di attrazione sociale in grado di ospitare eventi o semplicemente di accogliere quotidianamente residenti e frequentatori (Fig. 7).

I luoghi rinverditi grazie all'impiego dei si-

Case study	Location	Designed / Constructed by	Year	Main aspects
Via verde	Mexico City	Verde Vertical	2019	traffic pollution removal
Millbrook Roundabout	London	Biotecture	2019	traffic pollution removal
Hanghing Highway (concept)	São Paolo	Triptyque Architecture, G. Blanche	2019	traffic pollution removal
Transurban Eastern Distributor	Sydney	Junglefy	2019	traffic pollution removal and monitoring
Manly Vale Car Park	Sydney	Junglefy	2018	air filtration
Edgware Road Tube Station	London	Biotecture	2011	traffic pollution removal in urban canyon
The Perfect Pollinator	London	Scotscape Landscaping Ltd. Bug Life, Wildlife World	2016	pollinators habitat improvement
Green Your Laneway	Melbourne	City of Melbourne	2016	heat island effect mitigation and social participation
Coal Loader Community	Waverton (Au)	City of Waverton	2005	vertical gardening and post-industrial site reuse
MFO Park	Zurich	Burckhardt+Partner, Raderschallpartner	2002	post-industrial site reuse for social activitie
One Central Park	Sydney	Jean Nouvel Architects, P. Blanc	2014	systemic integration between building and vegetation
Urban Jungle	Prato	Stefano Boeri Architects, S. Mancuso	2019	urban regeneration and social participation
Ko-Bogen II	Düsseldorf	Ingenhoven Architects	2020	urban forestry
M6B2 Tower of Biodiversity	Paris	Maison Edouard François	2016	building and vegetation hybridation
Harmonia 57	São Paolo	Triptyque Architecture	2007	vegetation and construction materials interactio
Geogreen	Portugal	C-MADE	2016	circular economy

Tab. 1 | List of the case studies analysed.

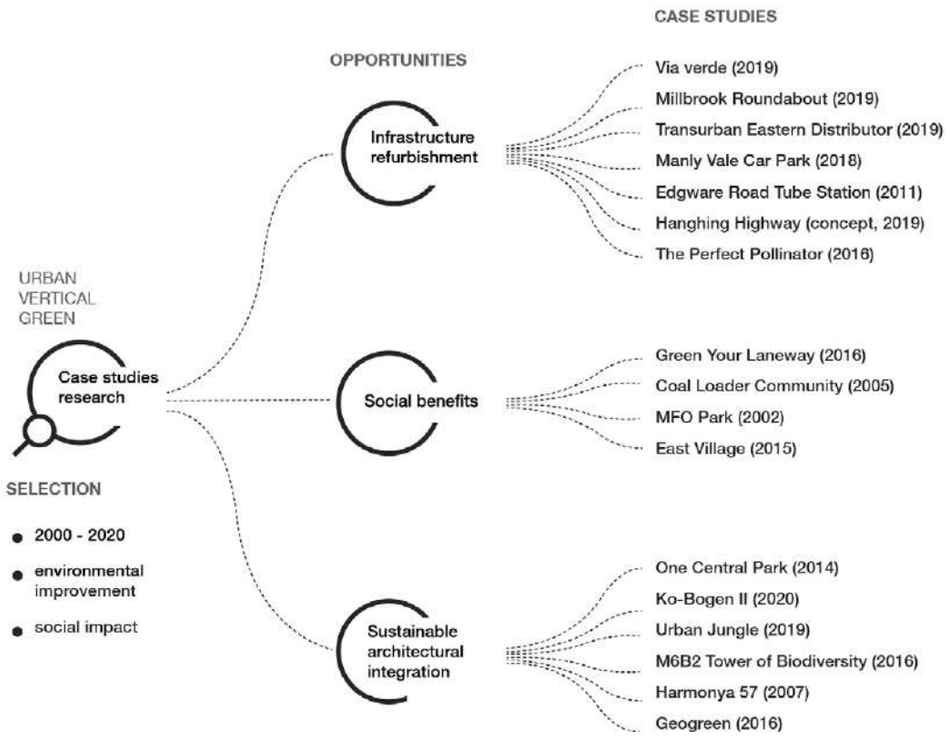

Fig. 2 | Graphical abstract of the paper.

stemi di verde verticale possono essere considerati 'alternative' al verde urbano tradizionale solo quando subentra la necessità di adattarsi a caratteristiche spaziali restrittive. Al fine di raccogliere ricadute sociali positive a lungo termine è importante progettare non solo le strutture dei sistemi ma anche le forme di coinvolgimento e responsabilizzazione dell'utenza che tengano in considerazione le fasi di gestione e manutenzione del verde verticale.

Integrazione tra il verde e l'edificio: nuove frontiere del verde verticale | L'unione tra vegetazione ed edificio diventa anche il mezzo con cui superare la netta separazione tra contesto urbano e naturale, al fine di connettere l'ambiente costruito al territorio. La particolarità dei risultati di questo processo riguarda la concretizzazione di un'ibridazione formale e funzionale che porta a una definizione dell'architettura che può essere intesa come 'natura fatta dall'uomo' (Ricci, 2020). L'edificio One Central Park a Sydney, realizzato nel 2014 da Jean Nouvel Architects in collaborazione con il botanico francese Patrick Blanc, è parte di un Piano di rigenerazione che vede la conversione del sito post-industriale in un'area residenziale in centro città. La particolarità del progetto risiede nella perfetta integrazione tra la vegetazione del Parco che si estende alla base del complesso edilizio e la sua continuazione artificiale lungo i due blocchi di appartamenti, realizzata attraverso l'uso di pareti verdi (Fig. 8). L'ampia area di copertura della vegetazione contribuisce alla riduzione del consumo energetico dell'impianto di condizionamento, assicurando comunque un buon irraggiamento solare durante i mesi invernali. Il complesso edilizio è stato inoltre dotato di un sistema di depurazione delle acque grigie e piovane, utilizzate per l'irrigazione del verde pensile e verticale, innescando un processo circolare nell'uso delle risorse. In questo modo, l'integrazione della componente vegetale in fase di progettazione rende il verde tecnologico un elemento funzionale alla sostenibilità dell'intero edificio (Wines, 2008).

Facendo riferimento all'approccio Green Over the Grey promosso da Emilio Ambasz (2016), il verde verticale viene concepito come partner per la realizzazione di 'foreste urbane' sovrapposte agli edifici stessi. Seguendo questa prospettiva prende forma nel 2019 il Programma di trasformazione Urban Jungle di Prato, che vede una collaborazione interdisciplinare tra Stefano Boeri Architects e il botanico Stefano Mancuso. Il carattere innovativo del progetto riguarda l'inserimento massivo di vegetazione su tutte le superfici dei fabbricati attraverso l'uso di verde pensile e verticale. La riqualificazione degli spazi prevede anche l'attivazione di dinamiche di partecipazione locale e iniziative di educazione ecologica, quali strumenti necessari a innescare una transizione verso forme di abitare più sostenibili. L'utilizzo della vegetazione fornisce supporto al miglioramento della qualità ambientale non solo all'esterno dell'edificio ma anche negli spazi interni. In un edificio industriale, per il quale è prevista la rifunzionalizzazione a Centro commerciale, sarà integrata una Fabbrica dell'Aria: un sistema vetrato di bio-filtrazione che, sfruttando i processi di fitodepurazione della vegetazione in esso contenuta, restituisce aria pulita all'interno dello stabile.

L'uso estensivo delle facciate verdi viene anche adottato nell'edificio Kö-Bogen II a Düsseldorf, realizzato da Ingenhoven Architects nel 2017 con l'obiettivo di offrire al centro città una fonte di aria pulita (Fig. 9). Il progetto prende chiara ispirazione dalla Land Art, ottenendo un risultato ibrido che oscilla tra edificio e parco urbano. L'involucro edilizio è stato totalmente rivestito da siepi di Carpinus betulus, specie autoctona scelta appositamente per le buone capacità di assorbimento della CO_2 (Scharenbroch, 2011). Il processo di ibridazione tra componente vegetale ed edificio può portare a instaurare anche nuove relazioni tra il progetto costruito e l'ecosistema vegetale. Il complesso residenziale M6B2 Tower of Biodiversity di Parigi, progettato nel 2016 dall'architetto Edouard Francois, ne è un esempio che ribadisce l'importanza della biodiversità nei contesti urbani: ricoperto da una rete di cavi in acciaio sui quali crescono piante rampicanti, l'edificio stesso diventa un vero e proprio strumento per la semina grazie all'azione del vento che consente la dispersione nell'ambiente circostante dei semi prodotti dalle specie vegetali coltivate. L'accrescimento delle specie rampicanti richiede necessariamente un elevato periodo di tempo per raggiungere una buona copertura dell'involucro; i benefici non sono dunque immediati ma in questo risiede un ulteriore elemento di innovazione: il contrasto tra i tempi naturali e quelli della città.

Guardando all'applicazione di un involucro vegetato esterno ancorato alla facciata, in Harmonia 57 a São Paolo lo studio Triptyque Architecture propone nel 2008 la fusione tra vegetazione e materiale edilizio eliminando l'elemento di supporto per le piante. Le pareti dell'edificio sono in cemento organico, materiale da costruzione poroso e permeabile, capace di trattenere acqua e umidità, all'interno del quale sono stati ricavati alcuni fori destinati a ospitare la vegetazione (Fig. 10). Le specie vegetali sono state selezionate in base al tempo di crescita, al grado di ombreggiatura e alla capacità di 'radicare' e svilupparsi sulla superficie muraria creando un substrato utile alla crescita di altre piante. L'edificio propone così un innovativo paradigma di verde verticale, aprendo la strada a sperimentazioni che puntano allo sviluppo di materiali cementizi che consentono la crescita in simbiosi degli organismi vegetali (Riley et alii, 2019).

Questo processo di avvicinamento tra costruito e materia naturale (Corrado, 2020) promuove un approccio progettuale che considera il contesto territoriale locale come opportunità per l'ideazione di soluzioni sostenibili. Il prototipo di pannello modulare Geogreen, sviluppato da C-MADE presso la Universidade da Beira Interior in Portogallo, si muove proprio in questa direzione (Manso et alii, 2018), riutilizzando gli scarti e i sottoprodotti della locale filiera industriale. Fanghi da attività di cava, scarti di lavorazione dei pannelli di sughero espanso e sfridi dell'industria vetraria sono stati recuperati e processati per creare un sistema di supporto alla vegetazione sostenibile che evita l'utilizzo di materiali metallici e plastici (Fig. 11). La natura sperimentale del processo di produzione mostra ancora consumi energetici elevati che possono però essere ridotti grazie alla creazione di una linea produttiva su piccola scala. Il riutilizzo del materiale di scarto ottenuto da altre filiere di produzione può però attivare meccanismi circolari con ricadute economiche positive sul ter-

ritorio locale: si tratta di un approccio sostenibile alla progettazione ampiamente adottato in molti settori, ma in fase ancora embrionale quando si parla di verde tecnologico, e che suggerisce interessanti opportunità di ricerca e sviluppo ancora da esplorare.

I casi presentati fanno parte di un approccio progettuale in evoluzione; i costi elevati che derivano dalle tecnologie e dai processi utilizzati e la difficile gestione della componente vegetale ancora non ne consentono un'applicazione diffusa, suggerendo però innovativi ambiti di sperimentazione.

Considerazioni finali | I casi analizzati mostrano il riconoscimento nella pratica progettuale della vegetazione quale ornamento 'performativo' in grado di migliorare alcune condizioni critiche in ambiente urbano, sebbene i costi di installazione e manutenzione del verde verticale ancora ne frenino l'adozione. Tuttavia, un impiego diffuso di tali strumenti potrebbe ridurre i costi di produzione e gestione incrementando parallelamente i benefici. La collaborazione delle Amministrazioni locali lascia ipotizzare un crescente interesse che spingerà il mondo della ricerca verso soluzioni finalizzate a ridurre costi ambientali ed economici di materiali, sistemi e processi. Ancora poco analizzata è la risposta comportamentale dell'uomo al 'verde verticale', un aspetto che suggerisce interessanti implicazioni nella pratica progettuale e che sta riscuotendo crescente attenzione nell'ambito della ricerca. L'utilizzo del verde verticale come strumento per attivare meccanismi di coesione sociale e di diffusione dei principi di ecologia urbana può consentire lo sviluppo di una maggiore consapevolezza del ruolo della vegetazione nel contesto urbano.

Sebbene il contributo offra una riflessione di tipo qualitativo sulle possibilità del verde verticale, è necessario intraprendere un'analisi costi-benefici dei diversi progetti al fine di ottenerne uno scenario più esaustivo dei punti di forza e delle criticità. Un'analisi corredata di dati quantitativi può contribuire a migliorare la sostenibilità ambientale, economica e sociale dei sistemi di inverdimento verticale attraverso lo sviluppo di componenti strutturali maggiormente connesse al territorio. Si delinea inoltre l'opportunità di utilizzo di nuove risorse secondo i principi dell'economia circolare e di riuso dei residui di potatura per la produzione di substrati organici. A questo proposito risulta interessante approfondire il ruolo attivo delle comunità locali nella gestione e manutenzione dei sistemi di inverdimento verticale al fine di sviluppare processi circolari di riuso degli scarti vegetali (Malaguti de Sousa, 2019). Le varie forme di verde verticale presentate suggeriscono come questa tecnologia possa concretizzare il concetto olistico di 'urbanatura' (Yudina, 2019), se la sua applicazione è opportunamente supportata dal dialogo interdisciplinare tra il mondo della ricerca, quello della progettazione e le Amministrazioni locali.

The urban environment presents itself as a singular scenario through which to analyse and observe the needs and desires of contemporary society. The phenomenon of migration from the countryside to the cities, which involved the whole of Europe throughout the 20th century, meant that the latter underwent strong urbanisation processes that were not always able to respond efficiently to the real needs of citizens. The subsequent process of 'counter-urbanisation', which since the 1970s has seen a progressive return to the countryside in many European cities, has highlighted how human life oscillates between the search for and rejection of urban reality (Girard et alii, 2003). A distinctive feature of the current Anthropocene is in fact the dichotomy between the city and nature, two dimensions that do not seem to be on an equal footing: the urban context provides facilities and services to its inhabitants and inevitably contributes to taking space away from the natural areas. This phenomenon segments, weakens or interrupts the regulatory mechanisms of ecosystems, thus making it necessary to reconsider the conflictual relationship between the built and natural environment (Neonato, Tomaselli and Colaninno, 2019).

In recent times, the design of public spaces and infrastructures pays more attention to the integration between natural processes and the urban environment, promoting a regeneration based on the activation of new social and environmental functions attributable to the city (Perrone and Russo, 2019). The Infinity Forest Project installation in Sydney by Scale Architecture in 2009 offers food for thought. The temporary work, a green oasis created in an alley surrounded by tall buildings and used as a shortcut by workers, encourages us to consider the possibility of using unused spaces by reintroducing plant elements capable of generating positive effects in those who usually visit the place. It is through this approach that the relationship between built environment and nature is redefined: a 'gentle' invasion of greenery into the urban grid (Zaffi and D'Ostuni, 2020) that mimics the processes of natural colonisation usually hindered by humans.

This 'biophilic' design approach (Marshall and Williams, 2019) proposes the use of greenery as a strategy to reactivate resilient processes within densely built-up realities (Forman, 2014). The LUSH (Landscaping for Urban Spaces and High-rises) programme introduced by the city of Singapore in 2009 is a good example of how this approach can be adopted to shape an Urban Development Plan in which nature becomes a design tool itself. The programme takes advantage of the growth of the urban fabric to create new green spaces through the adoption

Fig. 3 | Junglefy Breathing WallsTM installed along the Transurban Easter Distributor Motorway in Sydney, 2019 (source: junglefy.com.au, 2019).

Fig. 4 | Junglefy Breathing WallsTM on the Manly Vale Car Park in Sydney, 2018 (source: junglefy.com.au, 2018).

of various technological green solutions. The proposed innovation sees the use of the vertical surfaces of skyscrapers as useful places for the insertion of vegetated elements, promoting design visions that increasingly bring the artificial closer to the natural (Myers, 2018).

Vertical greening systems respond to the problems of the contemporary city in a flexible and non-invasive way, obviating the scarcity of space at ground level and reinterpreting the use and image of the building grid. Since the 1990s we have witnessed a growing popularity of these systems, commonly known as 'green walls', thanks to the pioneering research of Patrick Blanc and his famous Mur Végétal (Fig. 1; Bit, 2012). Technical and formal innovations have led to a progressive expansion of the development of these technologies and their application in contexts with diversified characteristics (Dunnet and Kingsbury, 2008). Green walls are nature-based systems consisting of a structural anchoring element to support the growth of vegetation, mainly climbing and shrubbery. They are technologies that exploit the vegetation component to mitigate some criticalities of the urban environment, reducing the concentration of gaseous pollutants, noise pollution, the 'urban heat island effect' effect and acting as a support to the promotion of urban biodiversity and the psychophysical well-being of citizens (Dover, 2015). The use of these vegetated systems in design practice establishes a 'co-construction' relationship through which to activate resilient responses in the urban context (Tesoriere, 2019).

Through the exploration of 16 case studies, this contribution offers a contemporary look at the possibilities of vertical greenery as a multifunctional element able to generate positive effects within the urban fabric. The paper is divided into three sections to broaden the context within which the action of vertical greenery can be assessed. Initially, cases are presented where this technology is used at the infrastructure level as a 'tool' for the reactivation of regulatory processes on a local scale. Then the focus shifts to the social impact of the use of vertical green as a 'strategy' for social involvement and cohesion. The last section explores the integration of the plant element into architecture and building materials as a way to address environmental degradation (Ratti and Belleri, 2020). This last section introduces the possibility of activating virtuous processes on the territory in order to achieve vertical greening systems that exploit local resources and stimulate dialogue between research and business.

In order to offer a reflection on the nature-built relationship that goes beyond a 'green idolatry' vision (Bellini and Mocchi, 2017), the contribution highlights the relationships that vertical green systems establish with the territory from the point of view of environmental sustainability and social dynamics (Tesoriere, 2020). The contents exposed invite reflection on the potential of synergistic design with vegetation in the urban context, a practice that requires strengthening the interdisciplinary dialogue between research, industry, ecology and social sciences (Liu et alii, 2007) in order to achieve effective results.

Methodology | This essay presents a selection of 16 projects that are significant in their reinterpretation of the surfaces of the urban fabric aimed at re-establishing a connection between the built environment and the network of environmental and social processes of the city (Tab. 1). The urban contexts analysed are of medium-large size, on a national and international scale, and in different climatic zones, in order to offer a wide-ranging view of the different declinations of vertical greening systems. The time frame under consideration includes the last twenty years, a period in which shared methodologies and design objectives have been found, leading to the experimentation of innovative solutions.

The projects are divided into three categories according to the opportunities offered from the point of view of environmental benefits and the activation of new spaces for sociality, showing an overcoming of the simple aesthetic function of urban greenery. The exploratory analysis considers the technical solutions adopted by the vertical greening systems to promote the refunctionalisation of the grey infrastructure, the creation of benefits from the point of view of the psycho-physical and social well-being of the local community and the sustainable integration between building and environment (Fig. 2).

Environmental benefits of vertical greenery: prospects for the development of green infrastructures | Thanks to the growing collaboration between scientific research and companies in the experimentation and quantification of environmental benefits, the function of vertical greenery in mitigating pollution conditions through the physiological processes of vegetation has become increasingly consolidated. In terms of implementation, some projects have stopped looking at the building as the only site of application, turning instead their attention to the complex system of urban infrastructures (Medl et alii, 2015).

The Vía Verde project in Mexico City, built in 2019 by architect Fernando Ortiz Monasterio of the company Verde Vertical, involves covering more than a thousand pillars supporting the elevated Anillo Periférico highway with green walls. The project aims to 'capture' and reduce the concentration of gaseous pollutants emitted by the intense vehicular traffic concentrated on one of the most heavily used motorway arteries in Latin America. The size of the project led the designers to reflect on the environmental impact of the vertical green components. Despite the considerable water demand of the hydroponic system used, the negative impact of the structure is balanced by the use of a layer of felt-based plant growth made from recycled plastic. A similar application of vertical greenery can be found in the 2019 installation by London-based Biotecture along the Millbrook Roundabout infrastructure in Southampton. Here, too, the aim is to mitigate high concentrations of atmospheric pollutants such as carbon dioxide, ozone, sulphur and nitrogen dioxide and atmospheric particulate matter by exploiting the photosynthetic activity of certain plant species. Seventeen different plant species have been planted inside the ten hydroponic green walls, including Euonymus, Convolvulus cneorum and Acorus gramineus, whose leaf morphology allows high quantities of PM10 to be captured.

Experimentation with the application of vertical greenery makes it possible to attribute new functions to road infrastructure, as in the case of the Plan to convert the Minhocão viaduct in São Paulo by the Franco-Brazilian firm Triptyque Architecture in 2015. The project, designed in collaboration with landscape architect Guil Blanche, uses vertical and hanging greenery to integrate the support structure of a section of the motorway underpass. Here again, the choice of vegetation is a fundamental aspect of the design proposal: the green walls with climbing plants consist largely of Hedera helix, a plant species that has demonstrated good absorption of PM10 atmospheric particulate matter (Sternberg et alii, 2010).

Based on several scientific research, the Australian company Junglefy implemented varied solutions to improve air quality control (Pettit, Irga and Torpy, 2020). The close collaboration between the company and academic research is reflected in the vertical greening interventions carried out in Sydney at a section of the Transurban Easter Distributor highway in 2019 and at the Manly Vale District interchange carpark in 2018. In the first case, green wall modules (composed of different plant species, including Westringia fruticosa, Nandina domestica, Dichondra repens) are installed along the highway guardrails (Fig. 3) and equipped with air quality monitoring sensors in order to proceed with a data collection and subsequent dissemination of a business case useful to promote the benefits in the use of green technology (Zupancic, Westmacott and Bulthuis, 2015).

Another project involved installing a vegetation system on the entire façade of the building, which acts as a natural filter between the interior and the exterior to improve air quality, composed of 27 native and exotic plant species, including Lomandra tanika, Viola hederacea and others such as Westringia fruticosa, which can attract pollinating insects (Fig. 4). Both cases show a response to the problem of maintenance, a critical phase in the management of vertical greenery. One of the causes of this criticality lies in the very flexibility of the system to be inserted in areas where space is limited. In the two interventions the systems can rotate 180° allowing access to the vegetation without the need to disassemble the support. The implementation of the structural component is a delicate practice; any modification should ensure a high level of resistance without requiring further frequent maintenance.

The 2011 installation of the green wall at the Bakerloo Line station in Edgware Road, London, by the company Biotecture, was also carried out with the intention of mitigating the concentration of atmospheric particulate matter at a critical junction in terms of air quality due to the absence of surrounding green areas (Fig. 5). Vertical greening systems are useful tools that can reduce the concentration of PM10 in particularly critical areas due to their 'urban canyon' conformation that makes the dispersion of gaseous pollutants more complex (Abhijith et alii, 2017). The project, which occupies an area of 180 sqm, requires monthly maintenance

Fig. 5 | Edgware Road Tube Station Living Wall in London by Biotecture, 2011 (credit: Biotecture Limited, 2011).

Fig. 6 | Meyers Place Loop Bar Green Wall by Fytogreen, Meyers Place, Melbourne, 2017 (image courtesy of City of Melbourne; source: melbourne.vic.gov.au, 2018).

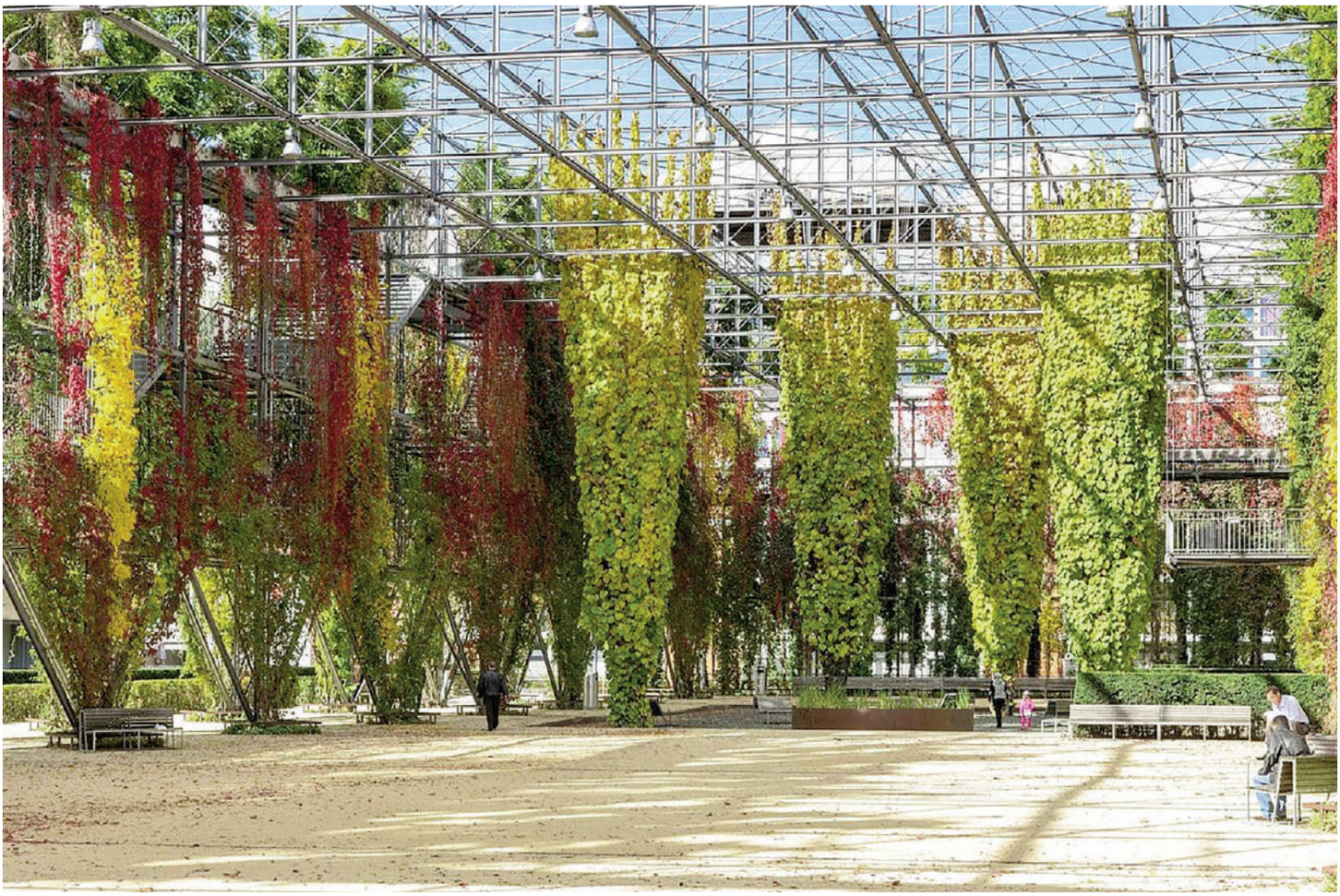

Fig. 7 | MFO Park in Zurich Nord by Burckhardt+Partner and Raderschallpartner, 2003 (credit: Joachim Kohler Bremen, 2013).
Fig. 8 | One Central Park in Sydney by Jean Nouvel Architects and Patrick Blanc, 2014 (credit: Sardaka, 2016).

in order to host and maintain 14,000 plants belonging to 15 different species with leaf characteristics suitable for consistent PM10 capture.

The above-mentioned projects show how a transition towards the adoption of 'green infrastructure' can be undertaken through the integration of plant elements that contribute to improving the quality of life, and in particular of the air, in urban contexts. By shifting the focus away from human needs, the green wall also presents itself as a tool to promote the biodiversity of flora and fauna by exploiting the characteristics of the urban environment. This is the case of the Perfect Pollinator modular system (created in London in 2016 by Scotscape Landscaping Ltd. Bug Life and Wildlife World) which, through a selection of floral species, provides a suitable habitat for pollinating insects. The widespread use of these green walls proposes a reactivation of pollination processes in order to combat the loss of floral species and to implement 'reconciliation' actions that reintegrate biodiversity through the greening of the anthropogenic environment (Francis and Lorimer, 2011).

Discussed projects highlighted that vertical greenery is mostly used to respond to localised anthropogenic pollution. However, the high costs of installation and management still make their use limited, and they are often an investment whose performance is not sufficiently reliable. The use of vegetation to mitigate pollutant

concentrations in areas with high vehicle traffic (Defilippi Shinzato et alii, 2019) is in fact a compensatory response that does not, however, act at the source of the problem. The choice of vegetation, which must be appropriate for the climate zone in which the system is inserted, is therefore a key aspect for efficiently supporting the ability of vertical green to produce environmental benefits. At the same time, it is necessary to develop a greater knowledge on the perception of green technology by users in order to trigger reflections and conscious behaviour.

Social aspects of vertical greenery: re-establishing a relationship with nature | The presence of vegetation in the urban environment is also an indispensable element in ensuring the psychophysical wellbeing of its citizens (Dobson et alii, 2021). Following recent events, the academic world has begun to consider with increasing interest the implications of the human-nature relationship on people's health, contributing to a more careful analysis of its consequences from a social and relational point of view (Pérez-Urrestarazu et alii, 2021). The realities presented in this section explore the strategies that vertical greenery adopts in order to promote social cohesion on the territory. Within this framework, the Green Your Laneway Program, supported by the City of Melbourne in 2016, proposes a Regeneration Plan aimed at the rehabilitation of a dense network of laneways, poorly used due to the high 'urban heat island effect' effect that makes the place uncomfortable. Through participatory planning by the citizens, the initiative envisages the insertion of vegetation as a solution to improve the control of microclimatic conditions and thermal comfort. Thanks to the installation of various types of vertical greenery, from green facades to hydroponic irrigation systems, the streets have become new centres of attraction and socialisation (Fig. 6). The Programme, which is still active, promotes activities and interventions aimed at creating local identity and involving the community in order to re-appropriate unused spaces. This process promotes new relationships and dynamics (Manzini, 2018) through a 'bottom-up' perspective that sees the flexibility of vertical greening systems as an easy-to-implement tool for the refunctionalisation of forgotten spaces.

Representative of this is the case of the Coal Loader Cottage Community Garden, a citizens association that reclaimed the post-industrial site in Waverton (Australia) through the construction in 2007 of a Multipurpose Centre dedicated to sustainability and housing a collective urban garden. The project was conceived in 2005 and involved collaboration between the local administration and community in the planning and design phase. In this case, different types of modular green walls were designed and installed in order to experiment with rainwater collection and phytoremediation systems and vertical gardens for growing herbs, small vegetables and fruit, avoiding the use of soil that would need to be reclaimed in a post-industrial area.

The experience of the Coal Loader Community Garden is particularly significant as it provides an opportunity for the local community to experiment with and design vertical greening systems using low-cost and recycled materials. This aspect is indispensable in the process of bringing citizens closer to and understanding the potential offered by various types of green walls. In fact, despite the fact that users generally have a positive perception of vertical green walls (Maron and Ramirez, 2020), in some cases there still remains a widespread opinion of a technology that requires complex management and high costs for maintenance. Experiences such as the one proposed by the Coal Loader Community Garden, by the Openspace studio for the One Century Community space at Klong 3 in Bangkok in 2011 and by Akinwolemiwa et alii (2018) underline the possibility of bringing the local community closer to the opportunities offered by vertical greening systems through a 'community-driven' approach.

Vertical greenery is also often conceived as a tool for regenerating post-industrial areas in order to give the spaces back to citizens. Burckhardt+Partner and Raderschallpartner's MFO Park in Zurich in 2002 involved redevelopment of the galvanised steel structure inside the building complex of the Maschinenfabrik Oerlikon, a historic manufacturer of machinery, weapons and electric locomotives. As part of a system of four parks created for the area's new residential centre, the project covers the entire structure with 1,200 different types of climbing plants, redefining the Pavilion's aesthetic appearance and perception of space. In this case, the vegetation is used to create a space of social attraction capable of hosting events or simply welcoming residents and visitors on a daily basis (Fig. 7).

Places greened by vertical green systems can only be considered as 'alternatives' to traditional urban greenery when there is a need to adapt to restrictive spatial characteristics. In order to reap positive social benefits in the long term, it is important to design not only the structures of the systems, but also the forms of involvement and empowerment of users that take into account the management and maintenance phases of vertical green systems.

Integration between green and building: new frontiers of vertical green | The union between vegetation and building also becomes the means by which to overcome the clear separation between urban and natural contexts, in order to connect the built environment to the territory. The particularity of the results of this process concerns the hybrid implementation of a form and function that leads to a definition of architecture that can be understood as 'man-made nature' (Ricci, 2020). The One Central Park building in Sydney, built in 2014 by Jean Nouvel Architects in collaboration with French botanist Patrick Blanc, is part of a Regeneration plan that sees the conversion of the post-industrial site into a residential area in the city centre. The project's particularity lies in the perfect integration of the park's vegetation extending to the base of the building complex and its artificial continuation along the two flat blocks, achieved through the use of green walls (Fig. 8). The large area covered by vegetation contributes to reducing the energy consumption of the air conditioning system, while still ensuring good solar radiation during the winter months. The building complex has also been equipped with a system for purifying grey water and rainwater, which is used to irrigate the hanging and vertical green areas, triggering a circular process in the use of resources. In this way, the integration of the vegetal component in the design phase makes the technological green a functional element for the sustainability of the entire building (Wines, 2008).

Referring to the Green Over the Grey approach promoted by Emilio Ambasz (2016), vertical greenery is conceived as a partner for the creation of 'urban forests' superimposed on the buildings themselves. Following this perspective, the Urban Jungle transformation programme in Prato takes shape in 2019, which sees an interdisciplinary collaboration between Stefano Boeri Architects and botanist Stefano Mancuso. The innovative character of the project concerns the massive inclusion of vegetation on all the surfaces of the buildings through the use of hanging and vertical greenery. The redevelopment of the spaces also includes the activation of local participation dynamics and ecological education initiatives, as necessary tools to trigger a transition towards more sustainable forms of living. The use of vegetation supports the improvement of environmental quality not only outside the building but also in the interior spaces. An Air Factory will be integrated into an industrial building that is to be converted into a shopping Centre: a glassed-in bio-filtration system that uses the phyto-purification processes of the vegetation it contains to bring clean air back into the building.

The extensive use of green facades is also adopted in the Kö-Bogen II building in Düsseldorf, built by Ingenhoven Architects in 2017 with the aim of providing the city centre with a source of clean air (Fig. 9). The project takes clear inspiration from Land Art, achieving a hybrid result that oscillates between building and urban park. The building envelope has been completely covered with hedges of Carpinus betulus, an autochthonous species specifically chosen for its good CO_2 absorption capacities (Scharenbroch, 2011). The process of hybridisation between the plant component and the building can also lead to the establishment of new relationships between the built project and the plant ecosystem. The M6B2 Tower of Biodiversity residential complex in Paris, designed in 2016 by architect Edouard Francois, is an example of this that reiterates the importance of biodiversity in urban contexts. Covered by a network of steel cables on which climbing plants grow, the building itself becomes a real tool for sowing seeds thanks to the action of the wind which disperses the seeds produced by the cultivated plant species in the surrounding area. The growth of climbing species necessarily requires a long period of time to achieve good coverage of the envelope. The benefits are therefore not immediate, but in this lies a further element of innovation: the contrast between times of nature and those of the city.

Looking beyond the application of an external vegetated envelope anchored to the façade, in Harmonia 57 in São Paolo (2008), Triptyque Architecture proposed a fusion of vegetation and building material that eliminates the supporting

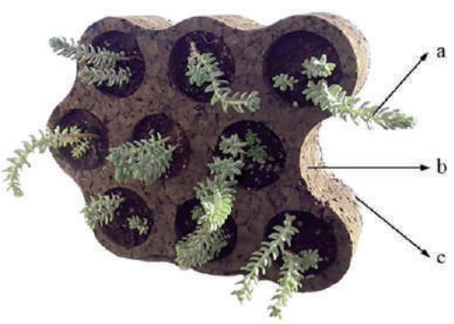

Fig. 9 | Kö-Bogen II in Düsseldorf by Ingenhoven Architects, 2020 (credit: U- Fischer, 2020).

Fig. 10 | Harmonia 57 in São Paulo by Triptyque Architecture, 2008 (credit: N. Kon, 2008).

Fig. 11 | C-MADE, Geogreen: a) Plant species; b) Cork board layer; c) Alkali-based layer (source: Manso et alii, 2018).

element for the plants. The building's walls are made of organic concrete, a porous, permeable building material capable of retaining water and humidity, into which holes have been cut to accommodate the vegetation (Fig. 10). Plant species were selected based on growth time, degree of shade, and the ability to 'root' and grow on the wall surface creating a useful substrate for other plants to grow. The building thus proposes an innovative paradigm of vertical greenery, paving the way for experiments aiming at the development of cementitious materials that allow the symbiotic growth of plant organisms (Riley et alii, 2019).

This process of bringing together the built and natural materials (Corrado, 2020) promotes a design approach that considers the local territorial context as an opportunity to devise sustainable solutions. The Geogreen modular panel prototype, developed by C-MADE at the Universidade da Beira Interior in Portugal, moves precisely in this direction (Manso et alii, 2018), reusing waste and by-products from the local industrial supply chain. Sludge from quarrying activities, waste from the processing of expanded cork panels and waste from the glass industry have been recovered and processed to create a sustainable vegetation support system that avoids the use of metal and plastic materials (Fig. 11). The experimental nature of the production process still shows high energy consumption, but this can be reduced by creating a small-scale production line. However, the reuse of waste material obtained from other production lines can activate circular mechanisms with positive economic effects on the local area. This is a sustainable approach to design that, although it is widely adopted in many sectors, is still in its infancy in the field of green infrastructures and it suggests interesting research and development opportunities yet to be explored. The cases presented are part of an evolving design approach. The high costs resulting from the technologies and processes used and the difficult management of the vegetation component do not yet allow for widespread application, but suggest innovative areas for experimentation.

Final considerations | The cases analysed show the recognition in the design practice of vegetation as a 'performative' ornament capable of improving some critical conditions in urban environments, although the costs of installation and maintenance of vertical green spaces still hinder its adoption. However, widespread use of such tools could reduce production and management costs while increasing benefits. The cooperation of local authorities suggests that there is a growing interest that will push the research world towards solutions aimed at reducing environmental and economic costs of materials, systems and processes. The behavioural response of humans to 'vertical greenery' is still little analysed, an aspect that suggests interesting implications for design practice and is receiving increasing attention in research. The use of vertical greenery as a tool to activate mechanisms of social cohesion and disseminate the principles of urban ecology may allow the development of a greater awareness of the role of vegetation in the urban context.

Although the contribution offers a qualitative reflection on the possibilities of vertical greening, a cost-benefit analysis of the different projects should be performed in order to obtain a more comprehensive scenario of their strengths and weaknesses. An analysis with quantitative data can help to improve the environmental, economic and social sustainability of vertical greening systems through the development of structural components more connected to the territory. The opportunity to use new resources according to the principles of circular economy and to reuse pruning residues for the production of organic substrates is also outlined. Indeed, it is interesting to investigate the active role of local communities in the management and maintenance of vertical greening systems in order to develop circular processes of reuse of plant waste (Malaguti de Sousa, 2019). The various forms of vertical greening presented suggest how this technology can materialise the holistic concept of 'urbanature' (Yudina, 2019), if its application is properly supported by interdisciplinary dialogue between the world of research, the world of design and local Administrations.

Acknowledgements

This contribution is the result of a common reflection of the authors. It contains the contents of the research carried out by M. Molari and L. Dominici under the supervision of Prof. E. Comino. The work is therefore to be attributed to the three authors in equal measure.

References

Abhijith, K. V., Kumar, P., Gallagher, J., McNabola, A., Baldauf, R., Pilla, F., Broderick, B., Di Sabatino, S. and Pulvirenti, B. (2017), "Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments – A review", in *Atmospheric Environment*, vol. 162, pp. 71-86. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.05.014 [Accessed 28 March 2021].

Akinwolemiwa, O. H., Bleil de Souza, C., De Luca, L. M. and Gwilliam, J. (2018), "Building community-driven vertical greening systems for people living on less than £1 a day – A case study in Nigeria", in *Building and Environment*, vol. 131, pp. 277-287. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.01.022 [Accessed 28 March 2021].

Ambasz, E. (2016), *Emilio Ambasz – Architectura & Natura / Design & artificio | Architecture & Nature / Design & Artifice*, Mondadori Electa, Milano.

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 [Accessed 12 April 2021].

Bit, E. (2012), *Il Nuovo Verde Verticale – Tecnologie Progetti Linee Guida*, Wolters Kluwer Italia, Milanofiori Assago.

Corrado, M. (2020), *Architetture del dopo – Costruire con salice, canna, bambù, paglia, terra*, DeriveApprodi, Roma.

Defilippi Shinzato, T. M., Dueñas, A., Ccasani, J., García, V. and Morales, G. (2019), "Effetto della vegetazione urbana su dissipazione termica e inquinanti gassosi | Influence of the urban vegetation on thermal dissipation and gaseous pollutants", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 6, pp. 162-169. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/6152019 [Accessed 12 April 2021].

Dobson, J., Birch, J., Brindley, P., Henneberry, J., McEwand, K., Mears, M., Richardson, M. and Jorgensen, A. (2021), "The magic of the mundane – The vulnerable web of connections between urban nature and wellbeing", in *Cities*, vol. 108, article 102989, pp. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.cities.2020.102989 [Accessed 28 March 2021].

Dover, J. W. (2015), *Green Infrastructure – Incorporating Plants and Enhancing Biodiversity in Buildings and Urban Environments*, Routledge, London.

Dunnet, N. and Kingsbury, N. (2008), *Planting Green Roofs and Living Walls*, Timber Press, Portland.

Forman, R. T. T. (2014), *Urban Ecology – Science of Cities*, Cambridge University Press, Cambridge. [Online] Available at: doi.org/10.1017/CBO9781139030472 [Accessed 28 March 2021].

Francis, R. A. and Lorimer, J. (2011), "Urban reconciliation ecology – The potential of living roofs and walls", in *Journal of Environmental Management,* vol. 92, issue 6, pp. 1429-1437. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.01.012 [Accessed 28 March 2021].

Girard, L. F., Bruno, F., Cerreta, M., De Toro, P. and Forte, F. (2003), *L'uomo e la città – Verso uno sviluppo umano e sostenibile*, FrancoAngeli, Milano.

Liu, J., Dietz, T., Carpenter, S. R., Folke, C., Alberti, M., Redman, C. L., Schneider, S. H., Ostrom, E., Pell, A. N., Lubchenco, J., Taylor, W. W., Ouyang, Z., Deadman, P., Kratz, T. and Provencher, W. (2007), "Coupled humans and natural systems", in *AMBIO | A Journal of the Human Environment*, vol. 36, issue 8, pp. 639-649. [Online] Available at: doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[639:CHANS]2.0.CO;2 [Accessed 21 March 2021].

Malaguti de Sousa, C. (2019), "Valutare gli scarti della gestione del verde urbano per il design – Idee dal caso di San Paolo | Waste valuing from urban wood management through design – Ideas from the case of Sãn Paulo", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 6, pp. 228-239. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/6222019 [Accessed 12 April 2021].

Manzini, E. (2018), *Politiche del quotidiano – Progetti di vita che cambiano il mondo*, Edizioni di Comunità, Roma.

Manso, M., Castro-Gomes, J., Paulo, B., Bentes, I. and Teixeira, C. A. (2018), "Life cycle analysis of a new modular greening system", in *Science of the Total Environment*, vol. 627, pp. 1146-1153. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.198 [Accessed 21 March 2021].

Maron, A. and Ramirez, F. (2020), "Social Perception of Living Walls in Quito – A Study of Four Vertical Gardens", in *SBE19 Temuco – Urban Planning, Global Problems and Local Policies, 16-18 October 2019, Temuco, Chile – IOP Conference Series*, vol. 503, article 012095, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.1088/1755-1315/503/1/012095 [Accessed 28 March 2021].

Marshall, A. J. and Williams, N. S. G. (2019), "Communicating Biophilic Design – Start with the Grasslands", in *Frontiers in Built Environment*, vol. 5, issue 1, pp. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.3389/fbuil.2019.00001 [Accessed 28 March 2021].

Medl, A., Stangl, R., Kikuta, S. B. and Florineth, F. (2017), "Vegetation establishment on 'Green Walls' – Integrating shotcrete walls from road construction into the landscape", in *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 25, pp. 26-35. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ufug.2017.04.011 [Accessed 23 March 2021].

Myers, W. (2018), *Bio Design – Nature, Science, Creativity*, The Museum of Modern Art, New York.

Neonato, F., Tomasinelli, F. and Colaninno, B. (2019), *Oro Verde – Quanto vale la natura in città*, Il Verde Editoriale, Milano.

Pérez-Urrestarazu, L., Kaltsidi, M. P., Nektarios, P. A., Markakis, G., Loges, V., Perini, K. and Fernández-Cañero, R. (2021), "Particularities of having plants at home during the confinement due to the Covid-19 pandemic", in *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 59, article 126919, pp. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126919 [Accessed 28 March 2021].

Perrone, C. and Russo, M. (eds) (2019), *Per una città sostenibile – Quattordici voci per un manifesto*, Donzelli Editore, Roma.

Pettit, T., Irga, P. J. and Torpy, F. R. (2020), "The botanical biofiltration of elevated air pollution concentrations associated the Black Summer wildfire natural disaster", in *Journal of Hazardous Materials Letter*, vol. 1, article 100003, pp.1-8. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.hazl.2020.100003 [Accessed 28 March 2021].

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 12 April 2021].

Ricci, G. (2020), "Ogni atto di costruzione è una sfida alla natura | Every act of construction is in defiance of nature", interview with Emilio Ambasz, in *Domus web*, 28/11/2020. [Online] Available at: domusweb.it/en/architecture/gallery/2020/11/26/interview-with-emilio-ambasz-the-father-of-green-architecture-every-act-of-construction-is-a-defiance-of-nature.html [Accessed 10 March 2021].

Riley, B., de Larrard, F., Malécot, V., Dubois-Brugger, I., Lequay, H. and Lecomte, G. (2019), "Living Concrete – Democratizing living wall", in *Science of The Total Environment*, vol. 673, pp. 281-295. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.065 [Accessed 25 March 2021].

Scharenbroch, B. C. (2011), "Urban Trees for Carbon Sequestration", in Lal, R. and Augustin, B. (eds), *Carbon Sequestration in Urban Ecosystems*, Springer, Dordrecht, pp. 121-138. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-94-007-2366-5_6 [Accessed 28 March 2021].

Sternberg, T., Viles, H., Cathersides, A. and Edwards, M. (2010), "Dust particulate absorption by ivy (Hedera helix L.) on historic walls in urban environments", in *Science of The Total Environment*, vol. 409, issue 1, pp. 162-168. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.09.022 [Accessed 28 March 2021].

Tesoriere, Z. (2020), "Il territorio nell'architettura – Grande scala e agricoltura nell'architettura italiana, 1966-1978 | The territory into architecture – Big scale and agriculture in Italian Architecture, 1966-1978", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 7, pp. 44-53. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/752020 [Accessed 12 April 2021].

Tesoriere, Z. (2019), "Dopo la firmitas – Prospettiva metabolista di architetture resilienti | After the firmitas – A metabolist perspective of resilient architecture", in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 6, pp. 58-65. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/662019 [Accessed 12 April 2021].

Wines, J. (2008), *Green Architecture – The art of architecture in the age of ecology*, Taschen, London.

Yudina, A. (2019), "La natura al centro del progetto – Urbanature | Nature at the centre of design – Urbanature", in *Domus web*, 15/07/2019. [Online] Available at: domusweb.it/en/speciali/guest-editor/winy-maas/2019/07/15/it-works.html [Accessed 25 March 2021].

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 [Accessed 12 April 2021].

Zupancic, T., Westmacott, C. and Bulthuis, M. (2015), *The Impact of Green Space on Heath and Air Pollution in Urban Communities – A Meta-Narrative Systematic Review*, David Suzuki Foundation, One Nature. [Online] Available at: davidsuzuki.org/wp-content/uploads/2017/09/impact-green-space-heat-air-pollution-urban-communities.pdf [Accessed 26 March 2021].