

CONTENT

CESARE SPOSITO (EDITORIAL)	<i>Strategie ecosistemiche e infrastrutture verdi in simbiosi con il costruito</i> 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> 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> Symbiosis of greenery with built form. A holistic, systems, multi-level approach	26
FRANCESCA OLIVIERI	<i>Progettazione simbiotica per un ecosistema urbano resiliente</i> Symbiotic design for a resilient urban ecosystem	40
SILVIA BARBERO, CAROLINA GIRALDO NOHRA CRISTIAN CAMPAGNARO	<i>Soluzioni sistemiche per un benessere olistico delle città. Processi, risultati e riflessioni</i> Systemic solutions for the holistic well-being of cities. Processes, results and reflections	50
EMANUELA COPPOLA, LEONARDO ZAFFI MICHELE D'OSTUNI	<i>Dalle Superillas al tactical greenery. Sperimentazioni e strategie transcalari di rigenerazione vegetale dello spazio urbano</i> From Superillas to tactical greenery. Experiments and transcalar strategies of vegetal regeneration of urban space	62
KEVIN SANTUS, ISABELLA SPAGNOLO DANIELE ROCCARO, MAICOL NEGRELLO	<i>Progettare l'adattamento. Resilienze di agricoltura urbana nel contesto europeo</i> 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> 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> Skyscrapers and greenery. An unprecedented symbiosis	94
ANTONELLA FALZETTI, INA MACAIONE VERA AUTILIO	<i>Ordine, complessità, misura. Il progetto tra architettura e natura</i> Order, complexity, measure. The project between architecture and nature	104
ALBERTO BOLOGNA, ADRIANA GHERSI STEFANO MELLI	<i>Lecture integrate per il verde pensile urbano. Codici espressivi e forme di natura</i> Integrated readings for the urban green roof. Expressive codes and forms of nature	114
OSCAR E. BELLINI, GIUSEPPE RUSCICA VITTORIO PARIS	<i>Verso una nuova ecologia dell'abitare condiviso. Verde tecnologico e Internet of Nature</i> Towards a new ecology of shared living. Technological greenery and the Internet of Nature	124
DANIEL IBÁÑEZ, VICENTE GUALLART MICHAEL SALKA	<i>La prototipizzazione pedagogica di edifici ecologici avanzati e biocittà presso il Valldaura Labs</i> On pedagogical prototyping of advanced ecological buildings and biocities at Valldaura Labs	136
EMANUELE SOMMARIVA, NICOLA V. CANESSA GIORGIA TUCCI	<i>Azioni verdi per città innovative. Il nuovo paesaggio agroalimentare</i> Green actions for innovative cities. The new agri-food landscape	150
VALERIA D'AMBROSIO, FERDINANDO DI MARTINO MARINA RIGILLO	<i>Tecnologie geocomputazionali digitali per il metaprogetto di infrastrutture verdi urbane</i> Digital geocomputational technologies for the metaproject of urban green infrastructures	162
ROBERTA COCCI GRIFONI, TIMOTHY D. BROWNLEE GRAZIANO E. MARCHESANI, MARIA F. OTTONE	<i>La micro-forestazione urbana per l'adattamento climatico nei porti minori del medio Adriatico</i> Urban micro-forestry for climate adaptation in the smaller ports of the mid-Adriatic sea	172
CAROLA CLEMENTE, MASSIMO PALME, ANNA MANGIARDI DANIELE LA ROSA, RICCARDO PRIVITERA	<i>Il verde urbano nella riduzione dei carichi di raffrescamento. Simulazioni nel clima Mediterraneo</i> Urban green areas in the reduction of cooling loads. Simulations in the Mediterranean climate	182
RENATA VALENTE, ROBERTO BOSCO SAVINO GIACOBBE, SALVATORE LOSCO	<i>Il progetto di infrastrutture verdi per le acque piovane. Note di metodo da un caso studio</i> 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> 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> 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> Renaturing historical centres. The role of private space in Milan's green infrastructures	226
MARIA CANEPA, FRANCESCA MOSCA ENRICA ROCCOTIELLO, ALEXANDRE CHANGENET ET ALII	<i>Ecologies, oltre l'inverdimento. Un approccio multi-specie per lo spazio urbano</i> 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> Environmental analysis and ecosystemic design. Survey, critical issues and application solutions	246
BRENDA CHAVES COELHO LEITE, LUCAS GOBATTI ISABELA GAMBÁ HUTTENLOCHER	<i>Tetti verdi subtropicali a bassa manutenzione. Verde spontaneo e profondità del substrato</i> Low-maintenance subtropical green roofs. Spontaneous vegetation and substrate depth	258
LUCAS BÜSCHER, ROMAN POLSTER HEIKE KLUSSMANN	<i>Botanical concrete. Sperimentazione su substrati di calcestruzzo per l'inverdimento verticale</i> Botanical concrete. Experimentation on concrete substrates for vertical greening	266
FEDERICA DAL FALCO, ROSANNA VENEZIANO MICHELA CARLOMAGNO	<i>Collaborazione tra natura e artificio. Processi simbiotici tra scienze, arti e design</i> 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> 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

AGATHÓN

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 GALLEGU 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)

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 Oppla¹ 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/CE²) 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)		✓	✓	
Netherlands	NBS for for urban resilience & citizens' wellbeing	Green area rehabilitation and development	✓	✓	✓	
		Urban gardening		✓	✓	
		Central Station: a 'Smart Sustainable District'	✓	✓	✓	✓
		Leidsche Rijn: sustainable urban drainage	✓	✓	✓	
		City trees and greenery	✓	✓	✓	
		73 actions	31	70	65	18

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

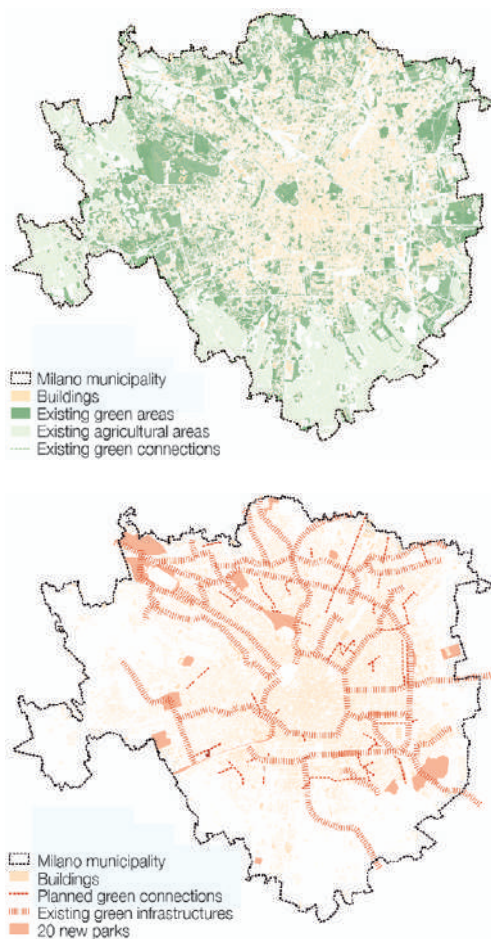


Fig. 1 | Mapping of the existing green infrastructure in the Municipality of Milan with reference to DBT2012 (credit: M. S. Lux, 2021).

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 pertinenti, 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 CO₂ 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

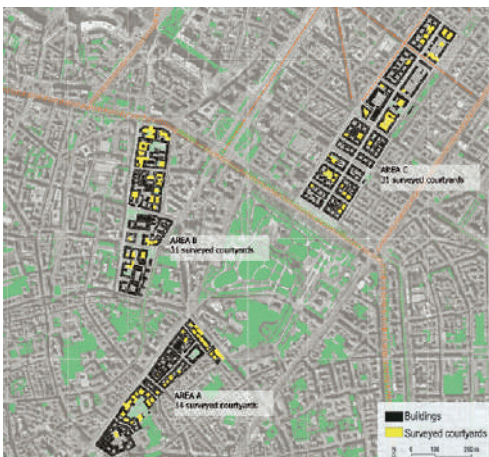


Fig. 4 | Map of surveyed areas (credit: M. S. Lux, 2021).

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/EC²). 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-

LEGEND 		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							
PRESENCE IN PILOT AREA																				
Area	a																			
	b																			
	c																			
FEASIBILITY & BENEFITS IN HISTORICAL CONTEXT																				
requirements	reversibility																			
	recognizability																			
	spatial feasibility																			
	structural feasibility																			
	economical feasibility																			
overall feasibility																				
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																				
overall benefits																				

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 [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 [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 [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 [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 [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 [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 [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 [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 [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 [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 [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 [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 [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 [Accessed 20 April 2022].

Comune di Milano (2019), *PGT Milano 2030 – Piano dei Servizi*. [Online] Available at: 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 [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 [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].

