

## ARTICLE INFO

Received	18 March 2024
Revised	22 April 2024
Accepted	02 May 2024
Published	30 June 2024

## INFRASTRUTTURE VERDI URBANE IN AMERICA LATINA

Una strategia per i cortili di Bogotá

## URBAN GREEN INFRASTRUCTURE IN LATIN AMERICA

A strategy for Bogotá courtyards

Julia Nerantzia Tzortzi, Maria Stella Lux, Natalia Pardo Delgado

### ABSTRACT

Infrastrutture verdi e soluzioni basate sulla natura sono fondamentali per la trasformazione sostenibile delle città in luoghi più resilienti e inclusivi. Tuttavia la pianificazione e la progettazione di questi interventi richiedono di essere adattate ad ambienti urbani e contesti socioeconomici molto diversi. L'ambito dell'America Latina e dei Caraibi risulta ancora poco studiato, benché sia una delle aree globali più urbanizzate. In quest'ottica il contributo fornisce una cornice analitica e progettuale per l'integrazione di soluzioni basate sulla natura in contesti urbani al fine della mitigazione del microclima e il miglioramento della fruibilità, costruito tenendo conto delle peculiarità morfologiche, storiche, climatiche ed amministrative dell'America Latina, applicato e testato nel caso di studio di Bogotá (Colombia). Il risultato è una matrice per la costruzione di strategie progettuali basata su tre attributi chiave degli spazi esterni e quattro componenti progettuali.

Green infrastructure and nature-based solutions are crucial for the sustainable transformation of cities into more resilient and inclusive places. However, the planning and design of these interventions must be tailored to different urban environments and socioeconomic contexts. Despite being one of the most urbanised global areas, the Latin American and Caribbean region still needs to be more researched. In this regard, this contribution provides an analytical and design framework for integrating nature-based solutions in dense urban contexts for microclimate mitigation and improved usability. It is constructed by considering the morphological, historical, climatic, and administrative peculiarities of Latin America, and it has been applied and tested in the case study of Bogotá (Colombia). The result is a matrix for constructing design strategies based on three key attributes of outdoor spaces and four design components.

### KEYWORDS

cortili urbani, microclima outdoor, infrastruttura verde urbana, soluzioni basate sulla natura, America Latina

urban courtyards, outdoor microclimate, urban green infrastructure, nature-based solutions, Latin America

**Julia Nerantzia Tzortzi**, PhD, is an Associate Professor of Landscape Architecture at the Department of Architecture, Built Environment, and Construction Engineering of the Polytechnic University of Milan (Italy). She is a Full Member of the Landscape Institute (UK), AIAPP, and IASLA. Her research focuses on urban resilience, impact assessment of nature-based solutions, and sustainable design. E-mail: julia.georgi@polimi.it

**Maria Stella Lux**, PhD, is a Research Fellow in Landscape Architecture at the Department of Architecture, Built Environment, and Construction Engineering of the Polytechnic University of Milan (Italy). Her research involves the integration of green infrastructure and nature-based solutions in historic urban areas. E-mail: mariastella.lux@polimi.it

**Natalia Pardo Delgado**, Landscape Architect, has teaching assistance experience in the University, private design projects, and collaborations with Colombian Entities and Institutions such as VISR (Rural Social Interest Housing) and the Banco Agrario de Colombia. E-mail: natalia.pardo@mail.polimi.it



Negli ultimi decenni l'imperativo della sostenibilità è diventato sempre più pressante, soprattutto se associato all'avvicinarsi di scadenze inderogabili per l'inversione della tendenza nella produzione di emissioni clima-alteranti e nei pattern di crescita e consumo di risorse (IPCC, 2022, 2023). Se si considera che a livello globale le città sono responsabili di circa il 75% delle emissioni di biossido di carbonio, benché occupino solamente l'1-3% della superficie terrestre, e che la crescita della popolazione urbanizzata raggiungerà il 68% entro il 2050 (United Nations, 2022) si intuisce quanto gli ambienti urbani costituiscano un ambito di trasformazione cruciale per il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità. Per tali motivi il filone di ricerca sull'integrazione di infrastrutture verdi e Nature-based Solutions (NbS) in contesti urbani è in costante crescita e sempre più la ricerca teorica è rafforzata da evidenze empiriche e buone pratiche (Andersson et alii, 2014; Frantzeskaki, 2019; Ingaramo and Stepanovic, 2021).

Tuttavia si osserva un forte squilibrio nella distribuzione geografica della ricerca teorica e pratica sulle NbS, con forte sbilanciamento verso il Nord globale (Stati Uniti ed Europa) e un ruolo decisamente marginale del resto del mondo (Flores et alii, 2022; Mercado et alii, 2024). Tale squilibrio si riflette in una mancanza di ricerca applicata ai contesti urbani dei Paesi in via di sviluppo, nella scarsità di esperienze concrete da prendere ad esempio e in una sostanziale esclusione proprio di quegli ambiti urbani che attualmente risultano in maggiore crescita (Dobbs et alii, 2019).

America Latina e Caraibi (ALC) in particolare costituiscono un'area critica per gli obiettivi di sostenibilità globale dato che ospitano il 50% della biodiversità globale: esse sono una delle aree più urbanizzate al mondo e presentano uno dei più alti tassi di crescita stimata di popolazione urbana per i prossimi anni (IDB, 2020), ma le peculiarità dei modelli urbani e delle caratteristiche amministrative di questi Paesi sono escluse dagli studi più avanzati.

In quest'ottica la presente ricerca sviluppa uno strumento di supporto al processo progettuale per integrare soluzioni verdi a piccola scala in aree consolidate del tessuto urbano per la mitigazione del microclima e l'aumento della biodiversità, con specifico riferimento al contesto sudamericano. L'originalità del contributo risiede nella combinazione di considerazioni qualitative e quantitative e nell'integrazione di metodi di analisi tradizionali, come lo studio dell'evoluzione storica del contesto urbano, con altri di più recente sviluppo, ad esempio le simulazioni microclimatiche. La combinazione di queste componenti confluisce all'interno di una matrice di supporto alla costruzione di strategie progettuali per l'integrazione di NbS in spazi ridotti, come i cortili urbani e altri spazi minori. Si tratta di uno strumento flessibile, replicabile in diversi contesti e volto a garantire un buon equilibrio tra le necessità di conservazione e valorizzazione dell'identità storica e le esigenze di adattamento e mitigazione.

Il lavoro di ricerca parte dall'inquadramento dello stato dell'arte, illustrato nella sezione che segue, in cui si presenta l'avanzamento del dibattito sul rapporto tra città e natura e si discute l'apparente conflitto tra tensione all'innovazione, conservazione e sostenibilità. A seguire si presentano i

principali riferimenti teorici e l'approccio metodologico in quattro fasi; nella quarta sezione viene presentato il caso studio di Bogotá, applicandovi le tre fasi di analisi esposte nella metodologia; successivamente si illustra la matrice di supporto al processo progettuale e infine, nell'ultima sezione, i risultati ottenuti vengono discussi criticamente.

**Innovazione e continuità tra città e natura** | L'insediamento della specie umana nel contesto naturale ne determina da sempre una trasformazione allo scopo di trarne vantaggi, risorse e opportunità. Come sottolineato dai dati del World Urbanization Prospects (United Nations, 2022), la struttura urbana rappresenta attualmente la forma più diffusa di insediamento umano e anche quella maggiormente destinata a crescere. L'espansione delle città causa una modifica irreversibile dell'ambiente naturale, attraverso l'infrastrutturazione massiccia, l'impermeabilizzazione estensiva dei suoli e la concentrazione di persone e funzioni in spazi ridotti.

Tale impostazione delle città contemporanee apre un evidente conflitto con i criteri di sostenibilità a lungo termine ed evidenzia la necessità di ripristinare un equilibrio tra i meccanismi di funzionamento della natura e le nostre modalità insediative. In questo senso la sfida della sostenibilità si gioca sulla tensione tra il ritorno a una situazione di equilibrio ormai compromessa e la spinta propulsiva dell'innovazione e della crescita, aspetti che tuttavia non devono essere intesi come conflittuali, bensì come collaboranti.

Il degrado avanzato dell'ambiente naturale impone in un certo senso di tornare indietro, di depavimentare, di liberare spazio per reintrodurre componenti naturali, ma la modalità in cui questo avviene richiede il massimo sforzo di innovazione tecnologica e creatività da parte della comunità scientifica e degli attori che agiscono nei contesti urbani (Delgado-Capel and Cariñanos, 2020).

In questo contesto la ricerca sulle infrastrutture verdi e sulle NbS rappresenta uno degli ambiti di innovazione principali sia a livello teorico che pratico, benché sia di fatto la naturale e moderna evoluzione di una riflessione sul rapporto tra città e natura che affonda le sue radici nel passato. Il concetto di 'infrastruttura verde' suggerisce di riconoscere il ruolo necessario della natura in città al pari di strade e servizi di base e di progettare lo spazio dedicato al verde seguendo criteri funzionali come avviene per tutti gli altri sistemi infrastrutturali (Scalisi and Ness, 2022). Nello specifico la funzionalità legata alla presenza della natura è quantificabile in termini di benefici ecosistemici e i criteri che ne guidano la progettazione e la pianificazione includono la connettività, la multifunzionalità e la multiscalarità (Pauleit et alii, 2017).

Il problematico rapporto tra città e natura si acuisce ulteriormente laddove l'espansione urbana è avvenuta in assenza di chiare linee guida urbanistiche, a ritmi particolarmente sostenuti e spesso seguendo trame informali che difficilmente riescono a garantire un buon equilibrio tra l'avanzare dell'antropizzazione e la conservazione delle risorse naturali (Haaland and van den Bosch, 2015; Hansen et alii, 2019; Russo and Cirella, 2018).

Nei Paesi ALC il tema dello sviluppo urbano sostenibile si fa ancora più pressante, considerando che la crescita di popolazione urbana si stima raggiungerà il 90% entro il 2050 (United Na-

tions, 2022) e che si assiste a processi di 'iperurbanizzazione' (da Cunha and Rodríguez Vignoli, 2009). Questo porta ad accentuati fenomeni di isola di calore ed elevati livelli di inquinamento dell'aria, nonostante le emissioni pro-capite siano mediamente basse se comparate con quelle dei Paesi più industrializzati. Di contro la disponibilità di spazi verdi è sempre più inadeguata a sostenere la crescita di popolazione (de Mola et alii, 2017) e l'inclusione sistematica dei concetti di infrastruttura verde e benefici ecosistemici nei sistemi di pianificazione è ancora limitata, anche a causa della generale instabilità politica della regione, che ostacola la pianificazione a lungo termine e la continuità delle iniziative (Dobbs et alii, 2019; Flores et alii, 2022).

Per completare il quadro occorre però sottolineare come i temi finora discussi stiano iniziando ad assumere un ruolo progressivamente crescente nel dibattito pubblico, nelle Istituzioni di ricerca e nelle Agende politiche dei Paesi ALC. Lo United Nations Environmental Programme<sup>1</sup> ha riconosciuto il crescente sforzo delle Università per includere tematiche ambientali non solo nei curricula, ma anche nella gestione pratica dei luoghi dell'istruzione (Sáenz, 2024). Parallelamente Istituzioni trans-nazionali come l'Inter-American Development Bank, con il suo Programma per Città Emergenti e Sostenibili<sup>2</sup>, sono attive da anni nello studio delle specificità sociali, economiche e politiche dell'area e nella definizione di metodi e linee guida per promuovere processi urbani sostenibili (IDB, 2016).

Tuttavia si riscontra ancora un notevole divario tra sforzo teorico e metodologico e l'impatto concreto in termini di governance e progetti realizzati. Tra i pochi esempi di approcci organici per la reintegrazione di componenti naturali nell'ambiente urbano occorre certamente citare il caso di Santiago del Cile, che offre un riferimento tangibile di Programma di infrastruttura verde per superare la frammentarietà dell'offerta attuale e da cui emerge in maniera significativa la rilevanza della gestione sostenibile degli spazi verdi di piccole e medie dimensioni (Banzhaf, Reyes-Paecke and de la Barrera, 2018; Banzhaf, de la Barrera and Reyes-Paecke, 2019; Vásquez et alii, 2016).

**Obiettivi, metodologia e fasi della ricerca** | Considerando l'urgenza dell'attuazione pratica di misure di adattamento degli ambienti urbani, la ricerca che il presente contributo illustra ha l'obiettivo di sviluppare uno strumento di supporto al processo progettuale per interventi a piccola scala. Questo obiettivo risponde alla necessità, chiaramente sottolineata dal Report dell'Inter-American Development Bank (IDB, 2016), di rendere l'impatto e il successo dei progetti di NbS chiaramente misurabile e quantificabile, non solo per evidenziarne i benefici, ma anche per avere strumenti oggettivi a supporto della programmazione pubblica e privata. Inoltre occorre considerare che la realizzazione effettiva dei progetti dipende da una programmazione realistica di tempi e costi, per cui interventi di piccola entità appaiono più facilmente sostenibili per Amministrazioni con un orizzonte temporale di azione di 4-5 anni.

Le radici teoriche di questo studio affondano primariamente nella letteratura scientifica sulle infrastrutture verdi urbane, per ribilanciare le componenti verdi e grigie in sistemi urbani complessi

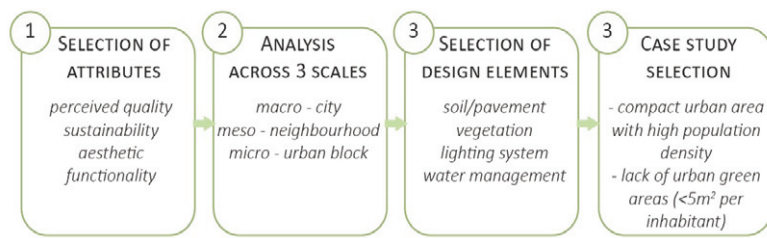


Fig. 1 | Four-step methodological process (credit: the Authors, 2024).

Tab 1 | Attribute-design element correlation matrix (credit: the Authors, 2024)

Next page

Fig. 2, 3 | Analysis of the Candelaria neighbourhood; Diagram of nodes and identification of potential areas of intervention at the micro-scale (credits: the Authors, 2024).

		Sustainability	Aesthetic	Functionality	Weights	Overall quality
<b>Design Components</b>		<b>0.35</b>	<b>0.30</b>	<b>0.35</b>		
1. Pavements	1a circulation			0.25	0.0875	
	1b albedo	0.2			0.07	0.2275
	1c permeability	0.2			0.07	
2. Vegetation	2a variety in heights and size		0.25	0.25	0.1625	
	2b sensoriality		0.25		0.075	0.3075
	2c climate resistance	0.2			0.07	
3. Illumination	3a distribution and orientation			0.25	0.0875	
	3b renewable energy	0.2			0.07	0.2325
	3c compatibility		0.25		0.075	
4. Water	4a circular management	0.2			0.07	
	4b sensoriality		0.25		0.075	0.2325
	4c drinkable water			0.25	0.0875	
		<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

(Bartesaghi Koc et alii, 2017; Young et alii, 2014) e per contribuire alla regolazione del microclima (Bartesaghi Koc et alii, 2016; Clemente et alii, 2022; Lizana et alii, 2022). In aggiunta ai principi della pianificazione verde sono stati presi a riferimento alcuni approcci agli studi urbani come la teoria della rete urbana ("urban web") di Salinas, che concepisce la città come sistema di reti interconnesse, riconducibili a tre elementi strutturali: nodi, connessioni e gerarchia (Salinas, 1998, 2005).

Lo studio del rapporto tra queste componenti è stato occasione per trovare margini di trasformabilità per migliorare l'integrazione delle reti verdi nel sistema urbano. Infine uno sforzo di ricerca aggiuntivo è stato dedicato a una comprensione più approfondita dello stato di fatto nei Paesi ALC, per contribuire a colmare il divario in termini di quantità di ricerca sperimentale che divide i Paesi del Nord e Sud del mondo (Ozment et alii, 2021).

Alla luce della cornice teorica di riferimento, dunque, l'obiettivo della ricerca è stato specificato nella definizione di uno strumento versatile per individuare le aree a piccola scala all'interno di ambienti urbani densi che hanno il potenziale per servire come nodi integrali dell'infrastruttura verde urbana. Lo studio si compone di quattro fasi: i) selezione degli attributi; ii) analisi su tre scale; iii) selezione degli elementi progettuali; iv) validazione nel caso di studio (Fig. 1).

Più nello specifico, la prima fase riguarda la valutazione della qualità complessiva degli spazi urbani attraverso tre attributi, ovvero la sostenibilità, l'estetica e la funzionalità / inclusività. La scelta

degli attributi è allineata alla direzione tracciata dal Programma del New European Bauhaus (European Commission, 2023); successivamente l'analisi del contesto viene svolta passando dalla scala macroscopica al dettaglio dell'area d'intervento. La macro-scala si estende all'intero paesaggio urbano e comprende la valutazione dei modelli di distribuzione delle infrastrutture verdi e delle traiettorie di espansione urbana. La meso-scala, con riferimento alla teoria della rete urbana, si focalizza a livello di quartiere sulle aree a maggiore carenza di verde e si concentra sull'identificazione di nodi e connessioni. Infine alla microscala si definisce un focus spaziale per potenziali interventi di NbS e si procede alla classificazione delle aree identificate con lo scopo di evidenziare le maggiori criticità e orientare la priorità d'intervento.

Proseguendo con la terza fase della metodologia proposta, la selezione di quattro elementi progettuali (pavimentazione, vegetazione, illuminazione e acqua) consente di definire una matrice di correlazione tra questi elementi e gli attributi definiti nella prima fase. In Tabella 1 si esplicano le relazioni tra attributi e componenti di progetto, che risultano in un valore unitario associato alla qualità complessiva, ottenuto dal prodotto tra il peso relativo associato a ciascun attributo e il contributo di ciascun elemento di progetto rispetto ai diversi attributi. Infine l'applicazione al caso di studio permette di testare e validare il metodo proposto.

**Il caso studio di Bogotá** | La selezione del caso

di studio ha dato priorità a grandi aree urbane con limitate infrastrutture verdi nelle aree a maggiore densità e a città ad alta densità di popolazione. Tra i Paesi ALC, la Colombia e la regione di Bogotá rappresentano un caso studio esemplare per la presenza di alcuni elementi interessanti, come l'adozione di politiche ambientali abbastanza avanzate rispetto ad altri Paesi dell'area, ma anche la persistenza di enormi problemi, tra cui un valore medio di 4,6 mq di spazio pubblico effettivo per abitante e di 11,48 mq di spazio pubblico verde per abitante (DADEP, 2022), ma con valori estremamente inferiori nella maggior parte dei quartieri centrali.

Bogotá, una metropoli in espansione che si sviluppa su un'area di 1.776 kmq e con una popolazione di oltre 11,5 milioni di abitanti, è la quinta città più popolosa tra i Paesi ALC<sup>3</sup>. L'analisi su tre scale ha permesso di raggiungere una buona conoscenza del contesto di riferimento fino a delineare le aree potenzialmente suscettibili di intervento sperimentale (Food and Land Use Coalition, 2023).

Il nucleo storico di impianto coloniale segue una griglia urbana di matrice spagnola, con un sistema costruito denso, pochi spazi pubblici aperti e gli unici spazi verdi all'interno dei cortili (Mejía Pavony, 2000). Le successive aree di espansione urbana riflettono invece l'evolversi degli approcci alla pianificazione tra il XIX e XX secolo e comprendono anche l'introduzione di spazi verdi come parchi urbani (il Parco del Centenario fu il primo realizzato nel 1910) e spazi verdi lineari (a partire dal 1930 con Brunner e poi con Le Corbusier). Fino agli



anni '90 i Piani teorici per le nuove aree urbane trovano sempre una realizzazione parziale a causa della instabilità politica e della frammentazione sociale, esacerbata dalla rapidità di crescita della popolazione (Andrade et alii, 2013).

Verso la fine del secolo, anche grazie alla spinta di importanti decisioni internazionali come la Convenzione di Rio delle Nazioni Unite del 1992, le Amministrazioni locali iniziano a dotarsi di strumenti di pianificazione specifici per far fronte al degrado ambientale dei contesti urbani. La Città di Bogotá adotta per la prima volta nel 2000 il Piano di Utilizzo del Territorio (POT – Plan de Ordenamiento Territorial), che integra il concetto di Struttura Principale Ecologica (EMS – Estructura Ecológica Principal). Questi strumenti hanno contribuito a tutelare alcune aree dall'espansione urbana incontrollata e in parte ad aumentare la quota di verde urbano, ma, come evidenziato anche da Dobbs et alii (2023) in riferimento all'area ALC in generale, 'non ha assicurato una migliore distribuzione del verde e dei suoi benefici'.

I dati riportati dall'Osservatorio dello Spazio Pubblico di Bogotá (DADEP) evidenziano in particolare come il centro storico, noto come quartiere della Candelaria, risulti una delle aree con minore accessibilità al verde con un indice di 3,08 mq di spazio pubblico verde per abitante.

L'analisi a livello di quartiere si è dunque focalizzata sul nucleo storico della Candelaria, dove gli spazi pubblici verdi si trovano per lo più all'interno degli isolati, nei cortili ('patios') tipici dell'architettura coloniale. Questi cortili, oltre a un profondo signifi-

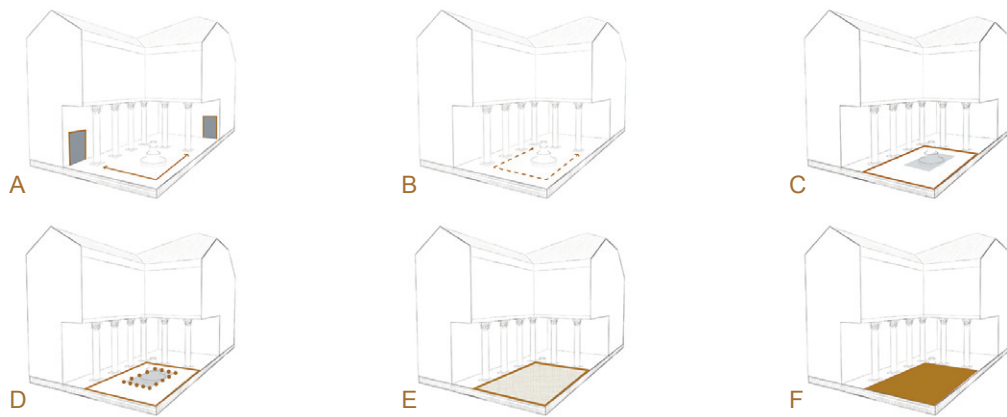
ficato sociale e culturale, hanno un ruolo funzionale nel fornire luce naturale e si prestano ad essere ambiti ottimali per il miglioramento del microclima locale (Diz-Mellado et alii, 2023; Ernest and Ford, 2012; Pelorosso, Gobattoni and Leone, 2017). Tuttavia persistono problemi di connettività tra gli spazi verdi esistenti, che ne limitano l'accessibilità e l'utilizzo; di conseguenza le attuali condizioni di fruibilità risultano inadeguate a sostenere il notevole flusso di popolazione nelle ore diurne.

Lo studio della Candelaria ha incluso anche un'analisi delle destinazioni d'uso, che ha evidenziato la presenza di diversi edifici pubblici d'interesse culturale e ha sottolineato l'importanza di stabilire connessioni tra i nodi di attività e la rete primaria di percorsi (Fig. 2): l'analisi rivela che le zone più frequentate mancano di spazi verdi e che, tra le aree potenzialmente migliorabili, ricoprono un ruolo chiave gli spazi aperti semipubblici, come i cortili di musei e biblioteche. Questo risultato contribuisce utilmente a specificare le intenzioni emerse dal programma del Nuovo Contratto Sociale e Ambientale per la Bogotá del XXI secolo siglato nel 2020<sup>4</sup>, che esprime obiettivi ambiziosi per aumentare l'offerta di verde pubblico, e a integrare la strategia attualmente adottata dall'Amministrazione locale, che ha dato priorità alla creazione di corridoi verdi ritenuti strumentali al rafforzamento della rete di infrastrutture verdi della città.<sup>5</sup>

Sono stati selezionati sei cortili interni rispettivamente di pertinenza della Biblioteca Luis Angel Arango, del Museo Botero, del Museo Militare, del Museo Coloniale, della Libreria del Congresso e del

Museo Archeologico (Fig. 3): a questa scala è stato possibile effettuare delle simulazioni del microclima a diverse ore del giorno, utilizzando il software Envi-met. L'analisi prende in considerazione vari parametri, tra cui la temperatura media radiante, la temperatura potenziale dell'aria e la temperatura superficiale, i quali hanno evidenziato che il raggiungimento di picchi di calore significativi risulta peggiore nei cortili con completa assenza di vegetazione.

**Piccoli interventi ad alto impatto** | Facendo riferimento alle osservazioni sul caso di Bogotá e alla matrice di correlazione tra attributi ed elementi di progetto, nell'ultima fase della ricerca è stata sviluppata una nuova matrice con la medesima impostazione, ma con una funzione orientativa delle azioni progettuali. Questo strumento risulta un utile supporto per un approccio strategico basato su interventi in spazi di piccole dimensioni, come i cortili interni identificati nel caso studio. La strategia è orientata nello specifico su spazi a gestione pubblica o semi-pubblica, in quanto questa risulta ad oggi la principale forma di governance degli spazi verdi urbani in tutto il contesto ALC (Sainz-Santamaria and Martinez-Cruz, 2022). Lo scopo ultimo della strategia proposta consiste nell'ottimizzare il processo di analisi e di scelta progettuale, per contenere e ottimizzare gli interventi e al tempo stesso garantire un miglioramento della percezione degli spazi oggetto d'intervento in termini di comfort, senso di sicurezza, inclusione e senso di appartenenza.



**Fig. 4** | The strategic toolkit – Paving actions: A) guarantee the connection with the main access; B) guarantee the circulation on the perimeter only; C) permeable pavements rate ranging between 20-30%; D) redirect rainwater downspouts to permeable or vegetated; E) selection of material that does not interfere with the accessibility and usability by any kind of user; F) selection of colour compatibility with the architectural space (credit: the Authors, 2024).

**Tab. 2** | Impact assessment matrix of possible project actions (credit: the Authors, 2024).

		Actions	key elements correspondance	IMPACT		
				Sustainability	Aesthetic	Functionality
1. Pavements	A	guarantee the connection with the main accesses	1a	0	L	H
	B	guarantee the circulation without counting on the perimeter only	1a	0	H	M
	C	permeable pavements rate ranging between 20-30%	1c	H	0	M
	D	redirect rainwater downspouts to permeable surfaces	1c	M	L	H
	E	selection of materials that does not interfere with the accessibility and usability by any kind of user	1a	0	0	H
	F	selection of color compatibility with the architectural space	1b	0	H	0
2. Vegetation	G	differentiate the vegetation types and heights	2a	H	M	H
	H	preference for autoctonous species or other species from similar climatic zones	2c	H	0	H
	I	positioning vegetation for shading in the areas with highest solar exposure	2b	M	0	H
3. Illumination	J	positioning of the lighting to highlight the path	3a	0	M	H
	K	valorise vegetation with lighting	3c	0	M	0
	L	integrate lighting in furniture with autonomous energy supply	3b	H	L	H
4. Water	M	preservation of historical water fountains	4b	0	H	M
	N	rainwater harvesting system	4a	H	0	M
	O	include dynamic water features	4b	0	H	M
	P	include hydration points for users	4c	0	L	H
	Q	redirect rainwater downspouts to vegetated surfaces and raingardens	4a	H	0	M

La struttura di base della matrice è data anche in questo caso dall'intersezione tra i tre attributi con i quattro elementi fondamentali di progettazione (Tab. 2). Rispetto a ciascun elemento vengono indicate alcune possibili modalità d'intervento, di cui si fornisce una valutazione qualitativa d'impatto rispetto ai tre attributi (dove 0 indica nessun impatto; L 'low', ridotto impatto; M 'medium', medio impatto e H 'high', alto impatto). La matrice risultante serve da punto di riferimento per facilitare un approccio più sistematico e guidato

dai dati alla pianificazione degli interventi. Di seguito si presentano le azioni proposte nel dettaglio. Il primo elemento progettuale, cioè la pavimentazione, ha particolare rilevanza perché impatta su fruibilità e inclusività dello spazio e anche su comfort in base alle proprietà dei materiali utilizzati. Si propongono sei possibili azioni (Fig. 4): i) collegamento con gli accessi principali per agevolare i flussi di movimento; ii) sistema di circolazione non basato sul corridoio periferico; iii) bilanciamento di pavimentazioni permeabili e non-permeabili,

con una quota di superficie naturale filtrante pari al 20-30%; iv) disconnessione e riorientamento dei pluviali per convogliare le acque piovane nelle aree di superficie naturale filtrante; v) pavimentazioni inclusive, attraverso la scelta di materiali non ostacolanti la fruizione da parte di utenti con disabilità; vi) compatibilità storica, laddove vi sia un carattere riconoscibile del contesto, attraverso la scelta di materiali in continuità con le caratteristiche esistenti.

La vegetazione rappresenta a sua volta uno

degli elementi essenziali per il comfort nello spazio aperto e la mitigazione del microclima. Per questo secondo elemento si suggerisce di integrare tre diversi livelli di vegetazione (piante erbacee, arbusti, piante a basso-medio fusto), assegnando a ciascun livello una funzione all'interno dello spazio. Nello specifico per la copertura del suolo occorre selezionare specie botaniche a crescita rapida, con una buona capacità di occupazione dello spazio; il livello medio include specie selezionate con lo scopo di delimitare gli spazi; infine l'inserimento di piante di media grandezza è funzionale all'ombreggiamento dello spazio aperto, ma deve essere attentamente valutato in funzione delle caratteristiche dello spazio.

Si suggerisce inoltre di preferire specie autoctone o originarie di aree climatiche simili, così da favorire l'adattamento al contesto climatico locale e limitare le necessità di manutenzione: per il caso di Bogotá è stato prodotto un elenco di piante, selezionate in maniera coerente con le indicazioni fornite dalla Municipalità e in funzione della loro adeguatezza per spazi di piccole dimensioni (Fig. 5).

Il terzo elemento di progettazione è rappresentato dall'illuminazione. Nello spazio pubblico o semipubblico essa assolve una funzione sia estetica sia funzionale, in quanto garantisce una corretta visibilità e veicola la percezione di sicurezza. Per una corretta progettazione di questo elemento si suggeriscono tre azioni (Fig. 6): i) differenziare l'illuminazione artificiale per zone di circolazione e di sosta; ii) optare per soluzioni integrate di arredo e sistemi illuminanti con capacità di alimentazione energetica autonoma; iii) integrare l'illuminazione d'accento nelle aree vegetate.

Infine per quanto concerne la gestione dell'acqua occorre tenere presente i principi di gestione sostenibile e promuovere l'innescio di processi circolari per bilanciare la domanda d'acqua per uso diretto o per irrigazione con le esigenze di drenaggio (Fig. 7). A tal proposito si propone di integrare sistemi di raccolta delle acque meteoriche e di riutilizzo della stessa per l'irrigazione delle aree verdi, in modo da limitare l'aumento del volume d'acqua associato al mantenimento della vegetazione. Si suggerisce inoltre di sfruttare l'acqua come elemento sensoriale, di conservare, laddove presenti, le fontane storiche dei cortili coloniali per il loro valore storico-artistico e di integrare, qualora assenti o insufficienti, nuovi punti di idratazione per gli utenti.

**Conclusioni** | La matrice proposta è stata testata e validata nel caso studio del quartiere della Candelaria a Bogotá attraverso il confronto tra la valutazione della situazione attuale dei sei cortili selezionati, l'individuazione di opportune azioni progettuali per ciascun caso e la simulazione dell'impatto di tali azioni.

Si riporta ad esempio il caso del cortile del Museo Militare (Fig. 8), in cui si riscontra la totale assenza di vegetazione, l'insufficienza di elementi di illuminazione e l'assenza di soluzioni per la gestione dell'acqua. Ipotizzando di attuarvi alcune delle azioni riportate in Tabella 2, in particolare attraverso l'inserimento di vegetazione di media altezza, il ripensamento dei percorsi e l'inserimento di apparecchi illuminanti, è possibile produrre una notevole trasformazione dello spazio (Figg. 9-10). Il confronto tra prima e dopo è reso più evidente dall'utilizzo della matrice di correlazione tra attributi ed

elementi di progetto per calcolare un punteggio di qualità complessivo, sia rispetto alla situazione attuale sia per la simulazione progettuale.

Il calcolo si effettua attribuendo una valutazione qualitativa a ciascuna componente progettuale con riferimento allo stato corrente e traducendola poi in un valore numerico (assente – 0; scarso – 0,2; medio – 0,6; buono – 0,8). Il punteggio di qualità complessiva, che varia tra 0 e 1, si calcola, per lo stato attuale, come sommatoria dei prodotti tra i voti e il peso relativo di ciascun elemento progettuale. Per il calcolo dello stato di progetto, al voto dello stato attuale si somma l'incremento dovuto alle azioni progettuali applicate. Per il cortile del Museo Militare si ottiene un punteggio della situazione corrente è pari a 0,21, mentre la simulazione progettuale raggiunge il voto di 0,69 (Tab. 3); l'impatto delle azioni ipotizzate è ulteriormente confermato dalla simulazione microclimatica (Fig. 11).

Il presente studio si inserisce nel crescente filone di ricerca sulle infrastrutture verdi e NbS, con lo scopo critico di contribuire a un ribilanciamento geografico della produzione scientifica a favore dei Paesi attualmente trascurati, ma cruciali nella sfida globale della sostenibilità, come ALC (Flores et alii, 2022). La proposta inoltre ha origine dall'evidente distacco tra produzione teorica e applicazioni pratiche di NbS e dal riscontro delle difficoltà degli Uffici di pianificazione di integrare le prescrizioni della ricerca in un Programma attuativo (Frantzeskaki, 2019; Hansen et alii, 2019).

L'elaborazione di una matrice di supporto alla valutazione preliminare delle aree d'intervento e alla programmazione di possibili interventi di NbS rappresenta un contributo pratico al processo di integrazione del concetto di infrastruttura verde nei sistemi di pianificazione urbana. La matrice di valutazione basata su tre attributi e quattro elementi progettuali è uno strumento altamente flessibile e adattabile all'analisi di diversi spazi urbani a piccola scala.

Nel caso di studio presentato l'applicazione dell'analisi su tre scale ha portato alla focalizzazione della proposta sui cortili pubblici di Istituzioni culturali, in continuità con la storia urbana di Bogotá ed enfatizzando il valore sociale e funzionale dei 'patios' all'interno della matrice compatta del quartiere storico della Candelaria. La scala ridotta degli interventi proposti da un lato è una strategia per offrire alle Amministrazioni locali delle soluzioni facilmente e rapidamente attuabili, dall'altro costituisce una possibile limitazione rispetto all'efficacia di una infrastruttura verde urbana a più ampia scala. I singoli interventi, valutabili e quantificabili con l'utilizzo della matrice proposta hanno indubbiamente un impatto a livello locale, ma perdono di rilevanza alla scala urbana, a meno che non siano parte integrante di un più ampio pensiero di pianificazione.

In conclusione, con riferimento al contesto geografico analizzato e al caso di studio, si può affermare che l'integrazione sistemica delle NbS nei Programmi di trasformazione urbana passa in primo luogo dalla trasformazione di spazi pubblici e che gli interventi a piccola e media scala rivestono un ruolo strategico non trascurabile. Lo sviluppo di programmi adeguati a ciascun contesto urbano deve necessariamente basarsi su una comprensione approfondita dello stesso e possibilmente valorizzarne le caratteristiche storiche, attuando

un approccio di innovazione in dialogo con la matrice sociale e culturale del luogo, con lo scopo ultimo di garantire una trasformazione realmente sostenibile dell'ambiente urbano.

---

The sustainability imperative has become increasingly pressing in recent decades, especially with the approaching deadlines for reversing trends in climate-altering emissions production, growth trends and resource consumption patterns (IPCC, 2022, 2023). When one considers that globally, cities are responsible for about 75% of carbon dioxide emissions, although they occupy only 1-3% of the earth's surface, and that urbanised population growth will reach 68% by 2050 (United Nations, 2022), one can see how urban environments are a crucial area of transformation for achieving sustainability goals. Consequently, research on the integration of green infrastructure and Nature-based Solutions (NbS) in urban contexts is steadily growing, and increasingly, theoretical research is reinforced by empirical evidence and best practices (Andersson et alii, 2014; Frantzeskaki, 2019; Ingaramo and Stepanovic, 2021).

However, there is a strong imbalance in the geographical distribution of theoretical and practical research on NbS, with a strong skew toward the global North (United States and Europe) and a decidedly marginal role for the rest of the world (Flores et alii, 2022; Mercado et alii, 2024). This imbalance is reflected in a lack of research applied to urban contexts in developing countries, a paucity of concrete experiences to take as examples, and a substantial exclusion of precisely those urban settings that are currently experiencing the greatest growth (Dobbs et alii, 2019).

Latin America and the Caribbean (LAC), in particular, are a critical area for global sustainability goals given that they are home to 50% of global biodiversity: they are one of the most urbanised areas in the world and have one of the highest estimated urban population growth rates for the coming years (IDB, 2020), but the peculiarities of the urban patterns and administrative characteristics of these countries are excluded from the most advanced studies.

With this in mind, this research develops a tool to support the design process for integrating small-scale green solutions in established areas of the urban fabric for microclimate mitigation and biodiversity enhancement, with specific reference to the South American context. The originality of the contribution lies in the combination of qualitative and quantitative considerations and the integration of traditional methods of analysis, such as the study of the historical evolution of the urban context, with others of more recent development, such as microclimate simulations. These components converge within a matrix to support the construction of design strategies for integrating NbS in small spaces, such as urban courtyards and other smaller spaces. It is a flexible tool replicable in different contexts and aimed at ensuring a good balance between the needs for preservation and enhancement of historical identity and the needs for adaptation and mitigation.

The research work starts with the state-of-the-art framework, illustrated in the following section, in which the advancement of the debate on the relationship between the city and nature is presented,



**Fig. 5 |** Strategic toolkit – Actions for vegetation: G) differentiate the vegetation types and heights; H) preference for the autochthonous species or other species from similar climatic zones; I) positioning vegetation for sharing in the areas with the highest solar exposure (credit: the Authors, 2024).

and the apparent conflict between the tension of innovation, conservation and sustainability is discussed. Next, the primary theoretical references and the four-step methodological approach are presented; in the fourth section, the case study of Bogota is presented, applying the three phases of analysis set forth in the methodology; then the matrix supporting the design process is illustrated; and finally, in the last section, the results obtained are critically discussed.

### Innovation and continuity between city and nature

| The settlement of the human species in the natural context has always resulted in its transformation to derive benefits, resources and opportunities from it. As data from the World Urbanization Prospects (United Nations, 2022) highlights, the urban structure currently represents the most widespread form of human settlement and is most likely to grow. The expansion of cities causes irreversible modification of the natural environment through massive infrastructuring, extensive sealing of soils and concentration of people and functions in small spaces.

Such an approach of contemporary cities opens a clear conflict with the criteria of long-term sustainability and highlights the need to restore a balance between the functioning mechanisms of nature and our settlement patterns. In this sense, the challenge of sustainability is played out in the tension between a return to a now compromised equilibrium situation and the propulsive thrust of innovation and growth. These aspects, however, should not be understood as conflicting, but instead as collaborating.

The advanced degradation of the natural environment requires, in a sense, going back, depaving, and freeing up space to reintroduce natural components, but how this is done requires the maximum effort of technological innovation and creativity on the part of the scientific community

and the actors acting in urban contexts (Delgado-Capel and Cariñanos, 2020).

In this context, research on green infrastructure and NbS represents one of the main areas of innovation both theoretically and practically, although it is, in fact, the natural and modern evolution of a reflection on the relationship between cities and nature that has its roots in the past. The concept of 'green infrastructure' suggests recognising the necessary role of nature in the city on a par with roads and basic services and designing space dedicated to green following functional criteria as is the case for all other infrastructure systems (Scalisi and Ness, 2022). Specifically, the functionality associated with the presence of nature is quantifiable in terms of ecosystem benefits, and the criteria guiding its design and planning include connectivity, multifunctionality, and multi-scalarity (Pauleit et alii, 2017).

The problematic relationship between city and nature is further exacerbated where urban expansion has taken place in the absence of clear urban planning guidelines, at a particularly fast pace and often following informal plots that are unlikely to ensure a good balance between advancing anthropisation and the conservation of natural resources (Haaland and van den Bosch, 2015; Hansen et alii, 2019; Russo and Cirella, 2018).

In LAC countries, the issue of sustainable urban development becomes even more pressing, considering that urban population growth is estimated to reach 90% by 2050 (United Nations, 2022) and we are witnessing processes of 'hyper-urbanization' (da Cunha and Rodríguez Vignoli, 2009). This leads to accentuated heat island phenomena and high levels of air pollution, even though per capita emissions are low on average compared to those of more industrialised countries. In contrast, the availability of green space is increasingly inadequate to support population growth (de Mola et alii, 2017), and the systematic

inclusion of the concepts of green infrastructure and ecosystem benefits in planning systems is still substantially limited, partly due to the general political instability in the region, which hinders long-term planning and continuity of initiatives (Dobbs et alii, 2019; Flores et alii, 2022).

To complete the picture, however, it is necessary to emphasise how the issues discussed so far are beginning to take on a progressively increasing role in public debate, research Institutions, and the Political Agendas of LAC countries. The United Nations Environmental Programme<sup>1</sup> recognised the growing effort of universities to include environmental issues not only in curricula but also in the practical management of educational venues (Sáenz, 2024). In parallel, trans-national Institutions such as the Inter-American Development Bank, with its Program for Emerging and Sustainable Cities<sup>2</sup>, have been active for years in studying the social, economic and political specificities of the area and defining methods and guidelines to promote sustainable urban processes (IDB, 2016).

However, there is still a significant gap between theoretical and methodological effort and concrete impact in terms of governance and implemented projects. Among the few examples of organic approaches to the reintegration of natural components into the urban environment, it is certainly worth mentioning the case of Santiago, Chile, which offers a tangible reference of the Green Infrastructure Programme to overcome the fragmented nature of the current offer and from which the relevance of the sustainable management of small and medium-sized green spaces emerges significantly (Banzhaf, Reyes-Paecke and de la Barrera, 2018; Banzhaf, de la Barrera and Reyes-Paecke, 2019; Vásquez et alii, 2016).

### Research objectives, methodology, and stages

| Considering the urgency of practical implementation of adaptation measures in urban environments, the research that this paper presents aims to develop a tool to support the design process for small-scale interventions. This objective responds to the need, clearly emphasised by the Inter-American Development Bank Report (IDB, 2016), to make the impact and success of NbS projects clearly measurable and quantifiable, not only to highlight their benefits, but also to have objective tools to support public and private planning. In addition, it should be considered that the actual implementation of projects depends on realistic scheduling of time and costs, so small-scale interventions appear more easily sustainable for Administrations with an action time horizon of 4-5 years.

The theoretical roots of this study lie primarily in the scientific literature on urban green infrastructure to rebalance green and grey components in complex urban systems (Bartasaghi Koc et alii, 2017; Young et alii, 2014) and to contribute to microclimate regulation (Bartasaghi Koc et alii, 2016; Clemente et alii, 2022; Lizana et alii, 2022). In addition to the principles of green planning, some approaches to urban studies have been referenced, such as Salingaros' urban network theory ('urban web'), which conceives of the city as a system of interconnected networks that can be traced to three structural elements: nodes, connections and hierarchy (Salingaros, 1998, 2005).

The study of the relationship between these components was an opportunity to find margins of

transformability to improve the integration of green networks into the urban system. Finally, an additional research effort has been devoted to a deeper understanding of the state of affairs in LAC countries to help bridge the gap in the amount of experimental research that divides countries in the North and South (Ozment et alii, 2021).

In light of the theoretical framework, therefore, the research objective was specified in defining a versatile tool to identify small-scale areas within dense urban environments that have the potential to serve as integral nodes of urban green infrastructure. The study consists of four phases: i) selection of attributes; ii) analysis at three scales; iii) selection of design elements; and iv) validation in the case study (Fig. 1).

More specifically, the first stage concerns the assessment of the overall quality of urban spaces through three attributes, namely sustainability, aesthetics, and functionality / inclusiveness. The choice of attributes is aligned with the direction outlined by the New European Bauhaus Programme (European Commission, 2023); subsequently, the context analysis is carried out by moving from the macro-scale to the detail of the intervention area. The macro-scale extends to the entire urban landscape and includes assessing green infrastructure distribution patterns and urban expansion trajectories. The meso-scale, with reference to urban network theory, focuses at the neighbourhood level on areas with the greatest lack of green and on identifying nodes and connections. Finally, at the micro-scale, a spatial focus is defined for potential NbS interventions and the identified areas are ranked to highlight major critical issues and prioritise intervention.

Continuing with the third phase of the proposed methodology, the selection of four design elements (pavement, vegetation, lighting, and water) allows the definition of a correlation matrix between these elements and the attributes defined in the first phase. In Table 1, the relationships between attributes and design components are made explicit, resulting in a unit value associated with the overall quality obtained from the product between the relative weight associated with each attribute and the contribution of each design element to the different qualities. Finally, application to the case study allows the proposed method to be tested and validated.

**The Bogotá case study** | The case study selection prioritised large urban areas with limited green infrastructure in higher-density areas and cities with high population density. Among the LAC countries, Colombia and the Bogotá region represent an exemplary case study because of the presence of some interesting elements, such as the adoption of fairly advanced environmental policies compared to other countries in the area, but also the persistence of enormous problems, including an average value of 4.6 sqm of effective public space per inhabitant and 11.48 sqm of public green space per inhabitant (DADEP, 2022), but with significantly lower values in most central districts.

Bogotá is an expanding metropolis covering an area of 1,776 square kilometres with a population of over 11.5 million, making it the fifth most populous city among LAC countries<sup>3</sup>. The three-scale analysis has achieved a good understanding of the context of reference to the point of outlining poten-

tial areas susceptible to experimental intervention (Food and Land Use Coalition, 2023).

The historic core of the colonial layout follows a Spanish-style urban grid, with a densely built system, few public open spaces, and the only green spaces within courtyards (Mejía Pavony, 2000). Subsequent areas of urban sprawl, on the other hand, reflect evolving approaches to planning between the 19th and 20th centuries and also include the introduction of green spaces such as urban parks (Centenary Park was the first implemented in 1910) and linear green spaces (starting in 1930 with Brunner and then Le Corbusier). Until the 1990s, theoretical Plans for new urban areas always found partial implementation due to political instability and social fragmentation, exacerbated by rapid population growth (Andrade et alii, 2013).

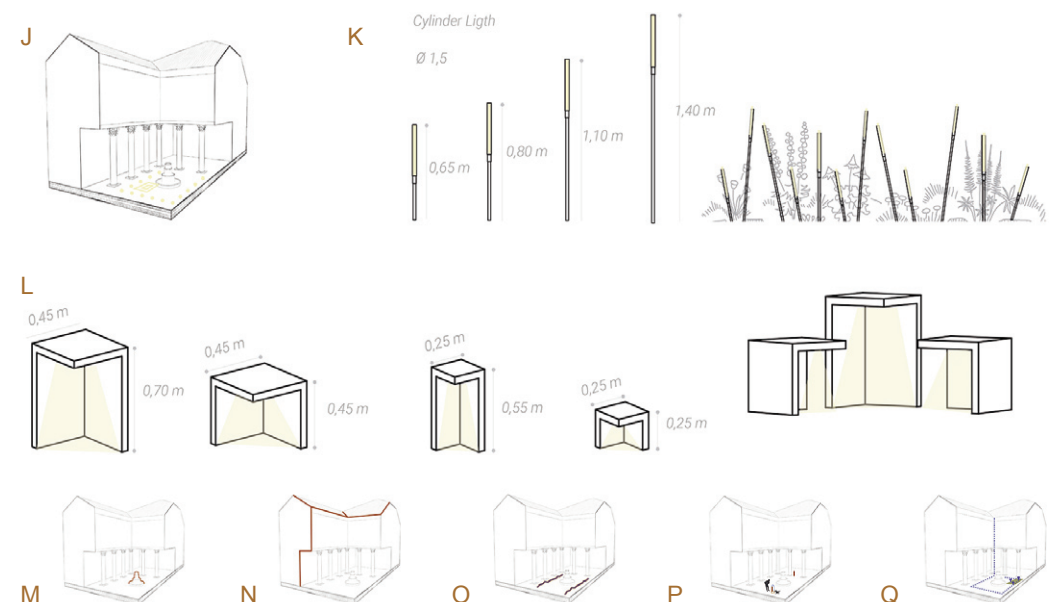
Toward the end of the century, partly due to the impetus of major international decisions such as the 1992 United Nations Rio Convention, local governments began to equip themselves with specific planning tools to address environmental degradation in urban settings. The City of Bogotá first adopted the Land Use Plan (POT – Plan de Ordenamiento Territorial) in 2000, incorporating the concept of Ecological Main Structure (EMS – Estructura Ecológica Principal). These tools have helped to protect some areas from uncontrolled urban sprawl and partly to increase the share of urban green, but, as also pointed out by Dobbs et alii (2023) in reference to the LAC area in general, 'it has not ensured a better distribution of green and its benefits'.

Data reported by the Bogotá Public Space Observatory (DADEP) highlight in particular how the old town, known as the Candelaria neighbourhood, emerges as one of the areas with the least accessibility to green space, with an index of 3.08 sqm of public green space per inhabitant.

The neighbourhood-level analysis thus focused on the historic core of the Candelaria, where green public spaces are mostly found within the blocks, in courtyards ('patios') typical of colonial architec-

ture. These courtyards, in addition to their deep social and cultural significance, have a functional role in providing natural light and lend themselves to be optimal areas for improving the local microclimate (Diz-Mellado et alii, 2023; Ernest and Ford, 2012; Pelorosso, Gobattoni and Leone, 2017). However, connectivity problems persist among existing green spaces, limiting their accessibility and use; as a result, current conditions of usability are inadequate to support the significant population flow during daylight hours. The Candelaria study also included a land-use analysis, which highlighted the presence of several public buildings of cultural interest and emphasised the importance of establishing connections between activity nodes and the primary network of pathways (Fig. 2): the analysis reveals that the busiest areas lack green spaces and that, among the areas with potential for improvement, semi-public open spaces, such as the courtyards of museums and libraries, play a key role. This result usefully contributes to specifying the intentions that emerged from the Programme of the New Social and Environmental Contract for 21st Century Bogotá signed in 2020<sup>4</sup>, which expresses ambitious goals to increase the supply of public green space, and to complement the strategy currently adopted by the local government, which has prioritised the creation of green corridors deemed instrumental in strengthening the city's green infrastructure network.<sup>5</sup>

Finally, six interior courtyards belonging to the Luis Angel Arango Library, the Botero Museum, the Military Museum, the Colonial Museum, the Library of Congress, and the Archaeological Museum, respectively, were selected (Fig. 3). At this scale, it was possible to carry out simulations of the microclimate at different times of the day using Envi-met software. The analysis considers various parameters, including mean radiant temperature, potential air temperature, and surface temperature, which showed that the achievement of significant heat peaks is worse in courtyards with complete absence of vegetation.



**Fig. 6** | Strategic toolkit – Actions for lighting: J) positioning of the lighting to highlight the path; K) valorising vegetation with lighting; L) implementation of modular furniture with solar energy systems (credit: the Authors, 2024).

**Fig. 7** | Strategic toolkit – Water Management Actions: M) preservation of historical water fountains; N) rainwater harvesting systems; O) dynamic water features; P) hydration point for users; Q) redirect rainwater for irrigation (credit: the Authors, 2024).



Design Components			absent	poor	fair	good	SCORE		score x weight	(score + impact) x weight	
1. Pavements	1a	circulation	0.0875		✓		0.6	A, B	1.1	0.05	0.15
	1b	albedo	0.07		✓		0.2			0.01	0.01
	1c	permeability	0.07		✓		0.2	C	0.6	0.01	0.06
2. Vegetation	2a	variety	0.1625	✓			0	G	1.0	0	0.16
	2b	sensoriality	0.075	✓			0			0	0
	2c	climate resistance	0.07	✓			0	H	0.8	0	0.06
3. Illumination	3a	distribution and orientation	0.0875		✓		0.6			0.05	0.05
	3b	renewable energy	0.07		✓		0.2	L	0.9	0.01	0.08
	3c	compatibility	0.075		✓		0.2	K	0.2	0.02	0.03
4. Water	4a	circular management	0.07		✓		0.2			0.01	0.01
	4b	sensoriality	0.075		✓		0.2	M	0.6	0.02	0.06
	4c	drinkable water	0.0875		✓		0.2			0.02	0.02
									<b>0.21</b>	<b>0.69</b>	

Tab 3 | Evaluation of the courtyard of the Military Museum before and after the project (credit: the Authors, 2024).

**Small interventions with high impact** | Referring to the observations on the Bogota case and the correlation matrix between attributes and design elements, a new matrix was developed in the last phase of the research with the same approach, but with an orientation function for design actions. This tool supports a strategic approach based on interventions in small spaces, such as the interior courtyards identified in the case study. The strategy is oriented specifically on publicly or semi-publicly managed spaces, as this appears to be the main form of governance of urban green spaces throughout the LAC context (Sainz-Santamaria and Martinez-Cruz, 2022). The ultimate goal of the proposed strategy is to optimise the process of analysis and design choice in order to contain optimise interventions and, at the same time, ensure an improvement in the perception of the spaces under intervention in terms of comfort, sense of safety, inclusion, and sense of belonging.

The basic structure of the matrix is again given by the intersection of the three attributes with the four basic design elements (Tab. 2). With respect to each element, a number of possible modes of intervention are indicated, of which a qualitative assessment of impact is given with respect to the three attributes (where 0 indicates no impact; L 'low', reduced impact; M 'medium', moderate impact; and H 'high', high impact). The resulting matrix serves as a reference point to facilitate a more systematic and data-driven approach to intervention planning. The proposed actions are presented in detail below.

The first design element, i.e., the pavement, is relevant because it impacts the space's usability, inclusiveness, and comfort based on the materials' properties. Six possible actions are proposed (Fig.

4): i) connection with main accesses to facilitate movement flows; ii) circulation system not based on the peripheral corridor; iii) balance of permeable and non-permeable pavements, with a 20-30% share of natural filtering surface; iv) disconnection and reorientation of rainwater downspouts to channel rainwater to areas of natural filtering surface; v) inclusive paving, through the choice of materials that do not hinder enjoyment by users with disabilities; vi) historical compatibility, where there is a recognisable character of the context, through the choice of materials in continuity with existing features.

Vegetation, in turn, represents one of the essential elements for comfort in open space and microclimate mitigation. For this second element, it is suggested that three different levels of vegetation (herbaceous plants, shrubs, and low-to-medium stem plants) be integrated, assigning each level a function within the space. Specifically, for ground cover, fast-growing botanical species with good space-occupying capacity should be selected; the medium level includes species chosen for delimiting spaces; and finally, the inclusion of medium-sized plants is functional for shading the open space, but should be carefully evaluated according to the characteristics of the space.

It is also suggested that native species or those from similar climatic areas be given preference to favour adaptation to the local climate and limit maintenance requirements. In the Bogota case, a list of plants was produced according to the indications provided by the Municipality and their suitability for small spaces (Fig. 5).

The third design element is lighting. In public or semi-public space, it serves both an aesthetic and functional purpose, as it ensures proper visibility

and conveys the perception of safety. Three actions are suggested for the proper design of this element (Fig. 6): i) differentiate artificial lighting by circulation and parking areas; ii) opt for integrated furniture solutions and lighting systems with autonomous energy supply capacity; and iii) integrate accent lighting in vegetated areas.

Finally, with regard to water management, sustainable management principles should be kept in mind and the triggering of circular processes to balance water demand for direct use or irrigation with drainage needs should be promoted (Fig. 7). In this regard, it is proposed to integrate systems to collect rainwater and reuse it for irrigation of green areas to limit the increase in water volume associated with vegetation maintenance. It is also suggested that water be harnessed as a sensory element, that historic fountains in colonial courtyards be preserved, where present, for their historical and artistic value, and that new hydration points for users be integrated where absent or insufficient.

**Conclusions** | The proposed matrix was tested and validated in the case study of the Candelaria neighbourhood in Bogotá by comparing the assessment of the current situation of the six selected courtyards, identifying appropriate design actions for each case, and simulating the impact of these actions.

The case of the courtyard of the Military Museum (Fig. 8) is given as an example, where there is a total absence of vegetation, insufficient lighting elements and no water management solutions. Assuming that some of the actions shown in Table 2 are implemented there, particularly through the inclusion of medium-height vegetation, the rethinking of pathways and the insertion of lighting fix-

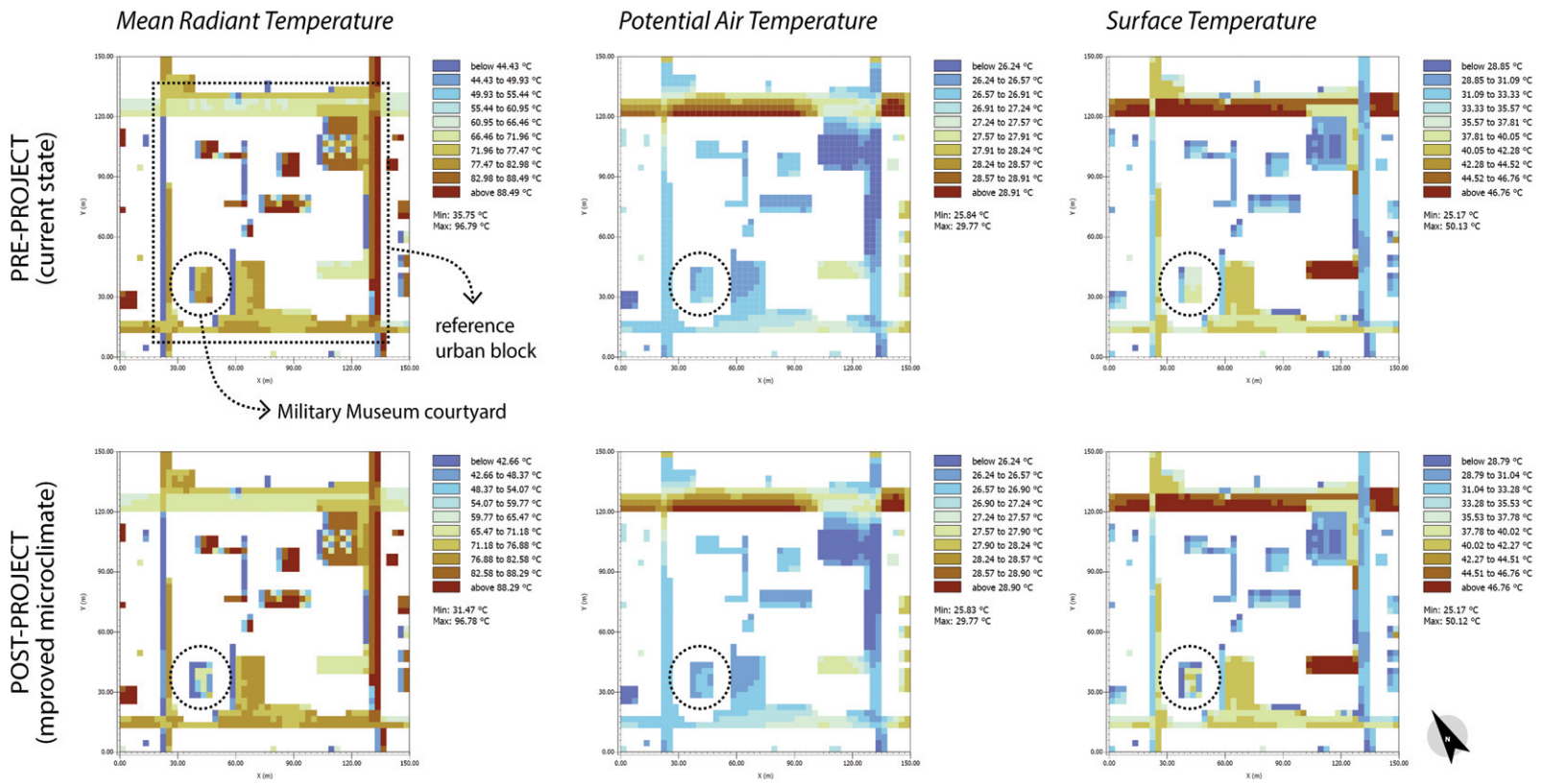
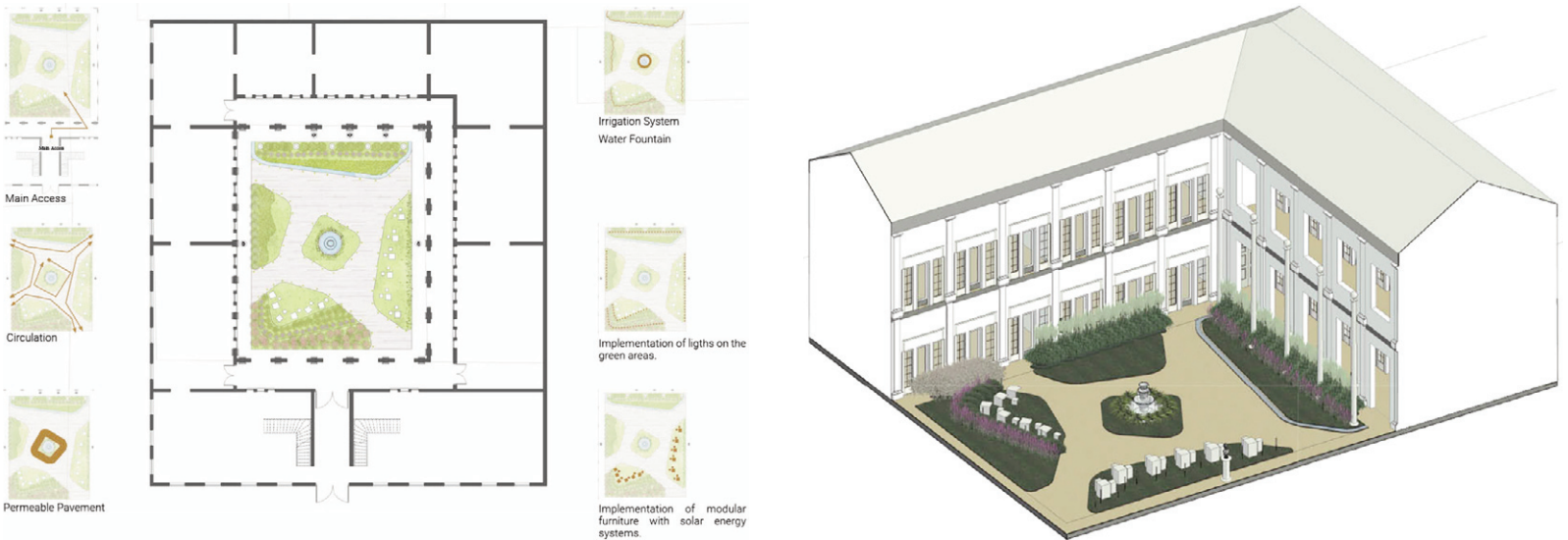


Fig. 8 | State of the Military Museum courtyard (credit: N. Pardo Delgado, 2024).

Figgs. 9, 10 | Selection and application of intervention strategies for the Military Museum courtyard (credits: the Authors, 2024).

Fig. 11 | Microclimate simulation of the Military Museum area on June 21 at h.13.00 (credit: the Authors, 2024).

tures, it is possible to produce a remarkable transformation of the space (Fig. 9, 10). The comparison between before and after is made more evident by using the correlation matrix between attributes and design elements to calculate an overall quality score, both with respect to the current situation and for the design simulation.

It is calculated by assigning a quality rating to each design component with reference to the current state and then translating it into a numerical value (absent – 0; poor – 0.2; average – 0.6; good – 0.8). The overall quality score, which varies between 0 and 1, is calculated, for the current state, as the summation of the products between the grades and the relative weight of each design element. For the calculation of the design state, the increase due to the applied design actions is added to the grade for the current state. For the courtyard of the Military Museum, the score of the current situation is 0.21, while the design simulation achieves a grade of 0.69 (Tab. 3). The impact of the assumed actions is further confirmed by the microclimate simulation (Fig. 11).

The present study is part of the growing strand of research on green infrastructure and NbS, with the critical aim of contributing to a geographic rebalancing of scientific production in favour of currently neglected but crucial countries in the global sustainability challenge, such as LAC (Flores et alii, 2022). The proposal also originates from the apparent disconnect between theoretical production and practical applications of NbS and the finding of

Planning Offices' difficulties in integrating research prescriptions into an Implementation Programme (Frantzeskaki, 2019; Hansen et alii, 2019).

Developing a matrix to support the preliminary assessment of intervention areas and planning possible NbS interventions is a practical contribution to integrating the green infrastructure concept into urban planning systems. Based on three attributes and four design elements, the assessment matrix is a highly flexible tool adaptable to analysing different small-scale urban spaces. In the case study presented, the application of the three-scale analysis led to the focus of the proposal on the public courtyards of cultural Institutions, in continuity with Bogotá's urban history and emphasising the social and functional value of 'patios' within the compact matrix of the historic Candelaria neighbourhood.

The small scale of the proposed interventions, on the one hand, is a strategy to provide local governments with solutions that can be easily and quickly implemented; on the other hand, it is a possible limitation with respect to the effectiveness of a larger-scale urban green infrastructure. Individual interventions that can be evaluated and quantified using the proposed matrix undoubtedly impact the local level, but they only gain relevance at the urban scale if they are part of broader planning thinking.

In conclusion, with reference to the geographic context analysed and the case study, the systemic integration of NbS in Urban Transformation Programmes passes primarily through the transforma-

tion of public spaces and small- and medium-scale interventions play a significant strategic role. The development of programmes adapted to each urban context must necessarily be based on a thorough understanding of it and possibly enhance its historical characteristics, implementing an innovation approach in dialogue with the social and cultural matrix of the place, with the ultimate goal of ensuring a truly sustainable transformation of the urban environment.

## Acknowledgements

The contribution is the result of a shared reflection among the Authors. In particular, the integration themes of Green Infrastructure and Nature-based Solutions have long been the main focus of research by Prof. J. Tzortzi and M. S. Lux, while the shift of interest to the South American context and the Bogotá case study are the result of dialogue and fruitful discussion with N. Pardo Delgado, who comes from this city and focused his experimental research on it. The Department of Architecture, Built Environment, and Construction Engineering of the Politecnico di Milano supported the research.

## Notes

1) For more information, see the webpage: [unep.org/news-and-stories/story/latin-american-universities-prioritize-sustainability](https://unep.org/news-and-stories/story/latin-american-universities-prioritize-sustainability) [Accessed 28 April 2024].

2) For more information on the Emerging and Sustainable Cities Programme (ESC), see the webpage: [iadb.org/en/who-we-are/topics/urban-development-and-housing/urban-development-and-housing-initiatives/emerging](https://iadb.org/en/who-we-are/topics/urban-development-and-housing/urban-development-and-housing-initiatives/emerging) [Accessed 28 April 2024].

3) For more information on Bogotá's Statistics and Facts, see the webpage: [statista.com/topics/10790/bogota/#statisticChapter](https://statista.com/topics/10790/bogota/#statisticChapter) [Accessed 18 March 2024].

4) For more information, see the webpage: [bogota.gov.co/yo-participo/plan-desarrollo-claudia-lopez-2020-2024/](https://bogota.gov.co/yo-participo/plan-desarrollo-claudia-lopez-2020-2024/) [Accessed 28 April 2024].

5) For more information, see the webpage: [cccs.org.co/wp/](https://cccs.org.co/wp/) [Accessed 18 March 2024].

## References

Andersson, E., Barthel, S., Borgström, S., Colding, J.,

Elmqvist, T., Folke, C. and Gren, Å. (2014), "Reconnecting cities to the biosphere – Stewardship of green infrastructure and urban ecosystem services", in *Ambio*, vol. 43, issue 4, pp. 445-453. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/s13280-014-0506-y](https://doi.org/10.1007/s13280-014-0506-y) [Accessed 18 March 2024].

Andrade, G. I., Remolina, F. and Wiesner, D. (2013), "Assembling the pieces – A framework for the integration of multi-functional ecological main structure in the emerging urban region of Bogotá, Colombia", in *Urban Ecosystems*, vol. 16, issue 4, pp. 723-739. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/S11252-013-0292-5](https://doi.org/10.1007/S11252-013-0292-5) [Accessed 28 April 2024].

Banzhaf, E., de la Barrera, F. and Reyes-Paecke, S. (2019), "Urban Green Infrastructure in Support of Ecosystem Services in a Highly Dynamic South American City – A Multi-Scale Assessment of Santiago de Chile", in Schröter, M., Bonn, A., Klotz, S., Seppelt, R. and Baessler, C. (eds), *Atlas of Ecosystem Services*, Springer, Cham, pp. 157-165. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/978-3-319-96229-0\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96229-0_25) [Accessed 18 March 2024].

Banzhaf, E., Reyes-Paecke, S. M. and de la Barrera, F. (2018), "What Really Matters in Green Infrastructure for the Urban Quality of Life? Santiago de Chile as a Showcase City", in Kabisch, S., Koch, F., Gaweł, E., Haase, A., Knapp, S., Krellenberg, K., Nivala, J. and Zehndorf, A. (eds), *Urban Transformations*, Springer, Cham, pp. 281-300. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/978-3-319-59324-1\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-319-59324-1_15) [Accessed 18 March 2024].

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, pp. 15-35. [Online] Available at: [doi.org/10.1007/S11252-016-0578-5](https://doi.org/10.1007/S11252-016-0578-5) [Accessed 18 March 2024].

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.PRO-ENG.2016.10.022](https://doi.org/10.1016/J.PRO-ENG.2016.10.022) [Accessed 18 March 2024].

Clemente, C., Palme, M., Mangiatordi, A., La Rosa, D. and Privitera, R. (2022), "Il verde urbano nella riduzione dei carichi di raffrescamento – Simulazioni nel clima Mediterraneo | Urban green areas in the reduction of cooling loads – Simulations in the Mediterranean climate", in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 11, pp. 182-191. [Online] Available at: [doi.org/10.19229/2464-9309/11162022](https://doi.org/10.19229/2464-9309/11162022) [Accessed 18 March 2024].

da Cunha, J. M. P. and Rodríguez Vignoli, J. (2009), "Crecimiento urbano y movilidad en América Latina | Urban growth and population mobility in Latin America", in *Revista Latinoamericana de Población*, vol. 3, issue 4-5, pp. 27-64. [Online] Available at: [doi.org/10.31406/RE-LAP2009.V3.I1.N4-5.1](https://doi.org/10.31406/RE-LAP2009.V3.I1.N4-5.1) [Accessed 18 March 2024].

DADEP – Departamento Administrativo de la Defensoría del Espacio Público (2022), *Reporte técnico de indicadores de espacio público 2021*. [Online] Available at: [observatorio.dadep.gov.co/sites/default/files/2021/03/2021\\_reporte\\_tecnico\\_de\\_indicadores\\_de\\_espacio\\_publico\\_2021\\_final\\_8.pdf](https://observatorio.dadep.gov.co/sites/default/files/2021/03/2021_reporte_tecnico_de_indicadores_de_espacio_publico_2021_final_8.pdf) [Accessed 28 April 2024].

de Mola, U. L., Ladd, B., Duarte, S., Borchard, N., La Rosa, R. A. and Zutta, B. (2017), "On the Use of Hedonic Price Indices to Understand Ecosystem Service Provision from Urban Green Space in Five Latin American Megacities", in *Forests*, vol. 8, issue 12, article 478, pp. 1-15. [Online] Available at: [doi.org/10.3390/F8120478](https://doi.org/10.3390/F8120478) [Accessed 18 March 2024].

Delgado-Capel, M. and Cariñanos, P. (2020), "Towards a Standard Framework to Identify Green Infrastructure Key Elements in Dense Mediterranean Cities", in *Forests*, vol. 11, issue 12, article 1246, pp. 1-22. [Online] Available at: [doi.org/10.3390/f11121246](https://doi.org/10.3390/f11121246) [Accessed 18 March 2024].

Diz-Mellado, E., López-Cabeza, V. P., Rivera-Gómez, C.

and Galán-Marín, C. (2023), “Seasonal analysis of thermal comfort in Mediterranean social courtyards – A comparative study”, in *Journal of Building Engineering*, vol. 78, article 107756, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.107756 [Accessed 18 March 2024].

Dobbs, C., Eleuterio, A. A., Vásquez, A., Cifuentes-Ibarra, M., da Silva, D., Devisscher, T., Baptista, M. D., Hernández-Moreno, Á., Meléndez-Ackerman, E. and Navarro, N. M. (2023), “Are we promoting green cities in Latin America and the Caribbean? Exploring the patterns and drivers of change for urban vegetation”, in *Land Use Policy*, vol. 134, article 106912, pp. 1-11. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2023.106912 [Accessed 28 April 2024].

Dobbs, C., Escobedo, F. J., Clerici, N., de la Barrera, F., Eleuterio, A. A., MacGregor-Fors, I., Reyes-Paecke, S., Vásquez, A., Zea Camaño, J. D. and Hernández, H. J. (2019), “Urban Ecosystem Services in Latin America – Mismatch between global concepts and regional realities?”, in *Urban Ecosystems*, vol. 22, pp. 173-187. [Online] Available at: doi.org/10.1007/S11252-018-0805-3 [Accessed 18 March 2024].

Ernest, R. and Ford, B. (2012), “The role of multiple-courtyards in the promotion of convective cooling”, in *Architectural Science Review*, vol. 55, issue 4, pp. 241-249. [Online] Available at: doi.org/10.1080/00038628.2012.723400 [Accessed 18 March 2024].

European Commission (2023), “New European Bauhaus Academy to build skills for sustainable construction with innovative materials”, in *ec.europa.eu*, 18/12/2023. [Online] Available at: ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\_23\_6593 [Accessed 18 March 2024].

Flores, S., Van Mechelen, C., Vallejo, J. P. and Van Meerbeek, K. (2022), “Trends and status of urban green and urban green research in Latin America”, in *Landscape and Urban Planning*, vol. 227, article 104536, pp. 1-18. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2022.104536 [Accessed 18 March 2024].

Food and Land Use Coalition (2023), *Prosperous Land, Prosperous People – Scaling finance for Nature-based Solutions in Colombia*. [Online] Available at: foodandlandusecoalition.org/knowledge-hub/ [Accessed 18 March 2024].

Frantzeskaki, N. (2019), “Seven lessons for planning nature-based solutions in cities”, in *Environmental Science and Policy*, vol. 93, pp. 101-111. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.033 [Accessed 18 March 2024].

Haaland, C. and van den Bosch, C. K. (2015), “Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification – A review”, in *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 14, issue 4, pp. 760-771. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.UFUG.2015.07.009 [Accessed 18 March 2024].

Hansen, R., Olafsson, A. S., van der Jagt, A. P. N., Rall, E. and Pauleit, S. (2019), “Planning multifunctional green infrastructure for compact cities – What is the state of practice?”, in *Ecological Indicators*, vol. 96, part 2, pp. 99-110. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.042 [Accessed 18 March 2024].

IDB – Inter-American Development Bank (2020), *Climate-Resilient Biodiverse Cities in Latin America*. [Online] Available at: issuu.com/ciudadesemergentesysostenibles/docs/climate-resilient\_biodiverse\_cities\_in\_lac\_march\_2 [Accessed 28 April 2024].

IDB – Inter-American Development Bank (2016), *Guía Metodológica Programa de Ciudades Emergentes y Sostenibles*. [Online] Available at: publications.iadb.org/es/guia-metodologica-programa-de-ciudades-emergentes-y-sostenibles-tercera-edicion [Accessed 28 April 2024].

Ingaramo, M. O. and Stepanovic, M. (2021), “Quando le luci si spengono – Prospettive future per la progettazione della casa intelligente | When lights turn off – Future perspectives to design smart homes”, in *Agathón | International Journal of Architecture Art and Design*, vol. 10, pp. 168-179. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/10152021 [Accessed 18 March 2024].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2023), *Climate Change 2023 – Synthesis Report – Working Groups I, II and III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Online] Available at: doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647 [Accessed 18 March 2024].

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2022), *Climate change 2022 – Impacts, adaptation, and vulnerability – Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Online] Available at: ipcc.ch/report/ar6/wg2/ [Accessed 18 March 2024].

Lizana, J., López-Cabeza, V. P., Renaldi, R., Diz-Mellado, E., Rivera-Gómez, C. and Galán-Marín, C. (2022), “Integrating courtyard microclimate in building performance to mitigate extreme urban heat impacts”, in *Sustainable Cities and Society*, vol. 78, article 103590, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.SCS.2021.103590 [Accessed 18 March 2024].

Mejía Pavony, G. R. (2000), *Los años del cambio – Historia urbana de Bogotá, 1820-1910*, Centro Editorial Javeriano, Bogotá. [Online] Available at: issuu.com/publicacionesfcs/docs/los\_a\_os\_del\_cambio [Accessed 18 March 2024].

Mercado, G., Wild, T., Hernandez-Garcia, J., Baptista, M. D., van Lierop, M., Bina, O., Inch, A., Ode Sang, Á., Buijs, A., Dobbs, C., Vásquez, A., van der Jagt, A., Salbitano, F., Falanga, R., Amaya-Espinel, J. D., de Matos Pereira, M. and Randrup, T. B. (2024), “Supporting Nature-Based Solutions via Nature-Based Thinking across European and Latin American cities”, in *Ambio*, vol. 53, pp. 79-94. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s13280-023-01920-6 [Accessed 18 March 2024].

Ozment, S., Gonzalez, M., Schumacher, A., Oliver, E., Morales, G., Gartner, T., Silva, M., Watson, G. and Grünwaldt, A. (2021), *Nature-based Solutions in Latin America and The Caribbean – Regional Status and Priorities for Growth*, Inter-American Development Bank and World Resources Institute, Washington (DC). [Online] Available at: doi.org/10.18235/0003687 [Accessed 18 March 2024].

Pauleit, S., Hansen, R., Rall, E. L., Zölch, T., Andersson, E., Luz, A. C., Szaraz, L., Tosics, I. and Vierikko, K. (2017), “Urban Landscapes and Green Infrastructure”, in *Environmental Science*, Oxford University Press, USA. [Online] Available at: doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.23 [Accessed 18 March 2024].

Pelorusso, R., Gobattoni, F. and Leone, A. (2017), “Green Courtyards as Urban Cool Islands – Towards Nature-based climate adaptation plans of compact cities”, in *City Safety Energy Journal*, vol. 1, pp. 27-36. [Online] Available at: doi.org/10.12896/CSE20160010086 [Accessed 18 March 2024].

Russo, A. and Cirella, G. T. (2018), “Modern Compact Cities – How Much Greenery Do We Need?”, in *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 15, issue 10, article 2180, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.3390/IJERPH15102180 [Accessed 18 March 2024].

Sáenz, O. (2024), “Sustainability in Higher Education Institutions in Latin America and the Caribbean – Trajectory, Performance and Challenges”, in Rotondo, F., Giovanelli, L. and Lozano, R. (eds), *Sustainability in Higher Education*, Springer, Cham, pp. 303-324. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-031-54026-4\_14 [Accessed 28 April 2024].

Sainz-Santamaria, J. and Martinez-Cruz, A. L. (2022), “Adaptive governance of urban green spaces across Latin America – Insights amid Covid-19”, in *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 74, article 127629, pp. 1-15. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.UFUG.2022.127629 [Accessed 18 March 2024].

Salingaros, N. A. (2005), *Principles of Urban Structure*, Techne Press, Michigan.

Salingaros, N. A. (1998), “Theory of the urban web”, in *Journal of Urban Design*, vol. 3, issue 1, pp. 53-71. [Online] Available at: doi.org/10.1080/13574809808724416 [Accessed 18 March 2024].

Scalisi, F. and Ness, D. (2022), “Simbiosi tra vegetazione e costruito – Un approccio olistico, sistemico e multilivello | Symbiosis of greenery with built form – A holistic, systems, multi-level approach”, in *Agathón | International Journal of Architecture, Art and Design*, vol. 11, pp. 26-39. [Online] Available at: doi.org/10.19229/2464-9309/112022 [Accessed 18 March 2024].

United Nations – Department of Economic and Social Affairs (2022), *World Urbanization Prospects 2022 – Summary of Results*. [Online] Available at: un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022\_summary\_of\_results.pdf [Accessed 18 March 2024].

Vásquez, A., Devoto, C., Giannotti, E. and Velásquez, P. (2016), “Green Infrastructure Systems Facing Fragmented Cities in Latin America – Case of Santiago, Chile”, in *Procedia Engineering*, vol. 161, pp. 1410-1416. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.08.602 [Accessed 18 March 2024].

Young, R., Zanders, J., Lieberknecht, K. and Fassman-Beck, E. (2014), “A comprehensive typology for mainstreaming urban green infrastructure”, in *Journal of Hydrology*, vol. 519, part C, pp. 2571-2583. [Online] Available at: doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2014.05.048 [Accessed 18 March 2024].