

IL PROGETTO DI INFRASTRUTTURE VERDI PER LE ACQUE PIOVANE

Note di metodo da un caso studio

GREEN STORMWATER INFRASTRUCTURES RESEARCH THROUGH DESIGN

Method notes from a case study

Renata Valente, Roberto Bosco, Savino Giacobbe, Salvatore Losco

ABSTRACT

La comprensione delle interrelazioni tra ambiente naturale e costruito è alla base dei criteri di riconfigurazione delle aree antropizzate. A partire dai risultati di un progetto di ricerca sulla riqualificazione degli spazi aperti urbani di un caso pilota di città razional-comprendensiva, si è testata l'implementazione di una rete di infrastrutture verdi per l'acqua piovana, considerando una porzione del reticolo idrografico. Si presenta un metodo per la valutazione dei benefici indotti dalle soluzioni basate sulla natura, formulando una ricerca tramite progetto per confrontare le performance della vegetazione sulla base di analisi effettuate a scale diverse. L'indagine sulle relazioni tra i parametri ambientali considerati contribuisce a innovare l'approccio alla riqualificazione ambientale.

Understanding the interrelations between natural and built environments is at the base of the reconfiguration criteria of man-made areas. Starting from the results of a research project on the requalification of urban outdoor spaces in a rational comprehensive city pilot case, the implementation of green stormwater infrastructures was tested, considering a section of the hydrographic network. The method hereby presented evaluates the benefits caused by nature-based solutions, formulating a research through design project to compare the performance of the vegetation based on analyses carried out at different scales. The investigation of the relations among the considered environmental parameters contributes to innovating the environmental requalification approach.

KEYWORDS

progettazione ambientale, interscalarità, servizi ecosistemici, valutazione microclimatica, soluzioni basate sulla natura

environmental design, interscalarity, ecosystem services, microclimate assessment, nature-based solutions

Renata Valente, PhD and Architect, is an Associate Professor at the Department of Engineering at the 'Luigi Vanvitelli' University of Campania in Aversa (Italy). She carries out research mainly in the field of environmental design specifically urban outdoor areas and coasts requalification. E-mail: renata.valente@unicampania.it

Salvatore Losco, PhD and Engineer, is an Associate Professor at the Department of Engineering at the 'Luigi Vanvitelli' University of Campania in Aversa (Italy). He carries out research mainly in the field of urban design and planning and sustainable regeneration of the territory. E-mail: salvatore.losco@unicampania.it

Roberto Bosco, Architect, is a PhD Candidate at the Department of Engineering at the University of Campania 'Luigi Vanvitelli' in Aversa (Italy). He carries out research mainly in the field of urban outdoor areas' requalification and sustainable design technology. E-mail: roberto.bosco@unicampania.it

Savino Giacobbe, Civil Engineering, carries out research at the Department of Engineering of the 'Luigi Vanvitelli' University of Campania in Aversa (Italy) mainly in the field of urban outdoor areas requalification and ecological rebalancing of the contexts connected with road infrastructures. E-mail: savino.giacobbe@studenti.unicampania.it

Gli interventi di trasformazione delle aree antropizzate basati sulla natura, per risultare efficaci, richiedono l'individuazione e la comprensione delle interrelazioni sistemiche tra ambiente naturale e costruito. Al fine di selezionare scelte progettuali sostenibili è fondamentale valutare, accanto ai ritorni locali immediatamente ottenibili, il potenziale di up-scaling o replica delle soluzioni adottate. Il mutato paradigma natura/artificio necessita, infatti, di una visione inter-scalare secondo un approccio sistemico, in grado di progettare soluzioni, adottando metodologie e pratiche di natura trans-disciplinare (Albert et alii, 2021). Le misure 'verdi' sono intrinsecamente portatrici di soluzioni per lo sviluppo urbano capaci di rispondere alle sfide del benessere umano promuovendo al contempo la biodiversità sistemica (Santolini, 2010).

La riqualificazione ambientale delle infrastrutture viarie urbane è per eccellenza l'ambito in cui coesistono scale di intervento e competenze scientifiche tradizionalmente separate, che vanno adeguatamente combinate per concepire una visione integrata delle reti grigie, verdi e blu. L'interpretazione interscalare dell'area vasta e delle condizioni locali consente di ripensare gli spazi aperti e della mobilità secondo un approccio ecosistemico, sia attraverso il piano urbanistico, che governa i cambiamenti da un punto di vista strategico regolamentare, sia mediante soluzioni tecniche, basate sulla natura, applicabili localmente. Le infrastrutture verdi, integrando i criteri e le tecniche per il progetto sostenibile, rappresentano il framework ideale a supporto della riprogettazione della vegetazione, del drenaggio delle acque meteoriche (Hoyer et alii, 2011) e dei canali per la mobilità, come si evince dalle già numerose applicazioni descritte in manuali e riportate dalla letteratura scientifica (Kurtz, 2009; Page, 2015; Valente, 2017; Losco, Macchia and Marino, 2013).

All'antica contrapposizione tra ambiente naturale e costruito/antropizzato va man mano sostituendosi il concetto di collaborazione/integrazione tra i due sistemi. Ciò avviene a livello della pianificazione, attuando pratiche di Eco-Planning (Wong and Yuen, 2011) che tendono a riqualificare le infrastrutture per la mobilità e gli spazi aperti delle aree urbanizzate. Nel momento attuativo, l'applicazione di criteri di progettazione ambientale sperimenta sul campo la coesistenza collaborativa delle reti grigie, rosse, verdi e blu.

L'espansione incontrollata delle aree antropizzate avvenuta a partire dagli anni '50, ha ridotto la disponibilità di spazio fisico e le connessioni con la natura, aumentando i rischi per la salute umana derivanti dall'aumento della densificazione e dal cambiamento climatico. L'isola di calore che caratterizza il clima di molte aree urbane ha portato a un ulteriore peggioramento della qualità di vita dei cittadini; queste condizioni hanno spinto a ricercare soluzioni innovative multiscopo, che utilizzino il verde in quanto elemento tecnico e non solo naturale, capace di integrarsi nelle nuove forme del costruito e in grado di avviare un processo di naturalizzazione della città.

Le evidenze scientifiche sviluppate nell'ambito di un progetto finanziato dal bando PRIN 2015¹ hanno testato l'efficacia dell'implementazione di infrastrutture verdi anche negli insedia-

menti dell'Italia meridionale. Sulla scorta delle esperienze americane sulle Green Stormwater Infrastructure – GSI (Valente, 2017), si è studiato un modello di buone pratiche per la gestione sostenibile delle acque meteoriche stradali nel processo di riqualificazione ambientale di un'area urbana a nord di Napoli, analizzando i benefici derivanti dall'integrazione di Nature-based Solutions (Valente et alii, 2021a).

Obiettivi dello studio | Ispirandosi ai suddetti principi, nell'ipotesi di riqualificazione degli spazi aperti urbani di un tessuto campione di città razional-comprendiva di un'area a nord di Napoli, si è testata l'implementazione di una rete di GSI, considerando una porzione del reticolo idrografico locale sino a ora non studiata, per una riprogettazione del verde urbano finalizzata a studiare i servizi ecosistemici delle soluzioni basate sulla natura. La ricerca tende a definire un metodo per la valutazione di tali benefici, attraverso la formulazione di una 'research through design' per confrontare il grado di performance degli interventi ipotizzati sulla base di analisi effettuate a scale diverse.

Particolare attenzione si è posta alle interrelazioni tra i risultati dei diversi indicatori prescelti e le condizioni morfologiche e microclimatiche, per comprendere le ricadute di carattere ambientale nei luoghi di applicazione. L'approccio valuta, quindi, il potenziale di up-scaling e/o replica di una data soluzione in condizioni differenti, definendo metodi per ottenere dati utili e di alta qualità per la pianificazione degli interventi. Lo studio si propone di dimostrare quali benefici può produrre una progettazione di tipo olistico.

Eco-Planning e rigenerazione sostenibile | La pianificazione urbanistica tradizionale frammentata e compromette gli ecosistemi poiché influenza la gestione delle acque, la mobilità, la densità e tutti gli altri elementi costitutivi dell'ambiente urbano. L'Eco-Planning punta alla bio-integrazione tra i sottosistemi antropici e quelli naturali per progettare quattro infrastrutture: la prima è quella verde della natura, la seconda quella blu dell'acqua, la terza quella grigia ingegneristica e la quarta è l'infrastruttura rossa umana, che include il contesto costruito, le attività antropiche e i sistemi economici, legislativi e sociali (Yeang, 2009).

La riprogettazione sostenibile degli insediamenti assegna ai servizi ecosistemici un ruolo fondamentale nelle trasformazioni del territorio; le infrastrutture verdi (Austin, 2014) costituiscono un'opportunità per il raggiungimento di tale obiettivo. Non meno importanti risultano le infrastrutture blu in quanto la gestione delle risorse idriche sarà una delle principali sfide del XXI secolo. Il Water Sensitive Urban Design (Hoyer et alii, 2011) fornisce tecniche valide per progettare uno schema di drenaggio sostenibile per gestire l'acqua piovana. In questo quadro interpretativo generale, le GSI possono essere considerate come una tecnica di bio-integrazione/interazione tra le infrastrutture verdi e blu con interconnessioni anche con le infrastrutture rosse e grigie.

Il caso pilota fa parte di un quartiere di recente espansione di Aversa (Fig. 1), città che nel secondo dopoguerra ha registrato un forte consumo di suolo impermeabilizzato non giustifica-

to dal corrispondente incremento demografico (50.640 ab.; Istat, 2021), causa principale di un peggioramento delle qualità ambientali urbane. Dagli anni Settanta fino al 2000 la pianificazione urbanistica è stata disciplinata da un regolamento edilizio con annesso Programma di Fabricazione e dal 2001 da un Piano Regolatore Generale tutt'ora vigente. L'area si estende per 8,26 ha, quasi totalmente impermeabilizzati mentre solo il 6,5% è sistemata a verde. La destinazione d'uso prevalente è quella residenziale; sono altresì presenti diversi servizi a uso pubblico che comportano un'elevata domanda di mobilità. Il censimento quantitativo e qualitativo del verde pubblico e privato ha consentito l'elaborazione di una cartografia tematica che registra una scarsa presenza di alberi, conseguente alla concezione residuale attribuita alla vegetazione nel progetto dello spazio aperto.

Il caso pilota è rappresentativo di almeno il 70% del patrimonio edilizio italiano e può quindi essere considerato paradigmatico per testare l'applicazione di una rete di GSI, i cui risultati potrebbero essere utilizzati tanto negli strumenti di pianificazione urbanistica che nei regolamenti edilizi.

Research through neighbourhood design | La Research through Design pone il progetto ambientale al centro dell'indagine sperimentale, basandosi su studio, registrazione e valutazione, individuando una direzione di ricerca relativa ai requisiti site-specific e una alla conoscenza generale. In tal senso, si è proposto uno studio per la riqualificazione del sito pilota in modo da estrapolare modelli di indagine e soluzioni replicabili in condizioni analoghe. Sfruttando i dati scaturiti dal rilievo sistematico del sito ed evolvendone l'elaborazione, si è pervenuti alla definizione di una metodologia di analisi multiscalare che, a partire dai dati meteorologici rilevati da Arpa Campania, ha prodotto le simulazioni termo-fluidodinamiche di PMV (Predicted Mean Vote), PET (Physiological Equivalent Temperature) e temperatura potenziale del luogo per le ore 9:00, 12:00 e 15:00. Parallelamente agli aspetti operativi è stato studiato l'impatto economico dei servizi ecosistemici forniti dalle soluzioni adottate, utile per stabilire il miglior compromesso tra efficacia ecologica e indotto connesso.

A partire dalle considerazioni di area vasta proprie della ricerca di riferimento, sono stati considerati il sottobacino idrografico identificato tramite applicativo GIS e gli ulteriori micro-bacini del reticolo urbano del caso pilota. Sono stati quindi selezionati gli indicatori adatti a verificare l'efficacia delle scelte progettuali elaborate. Gli indicatori appropriati (Tab. 1) sono stati raggruppati per prestazioni idrauliche, urbane, microclimatiche ed economiche (Losasso, 2017), pervenendo quindi ad una strategia di ricerca di tipo iterativo tra le fasi di Analisi, Progetto e Verifica, che ha permesso di raffinare i risultati ottenuti, selezionando le soluzioni più adeguate (Fig. 2).

La dinamica inter-scalare della ricerca ha permesso di individuare le aree in cui collocare le GSI (Stormwater Bump-out, Stormwater Planter, Stormwater Rain Garden) attraverso lo studio delle linee di deflusso delle acque per aumentare la permeabilità locale e la vegetazione, componente attiva di tali infrastrutture, poiché depura



Fig. 1 | Territorial classification of the studied area located southwest of Aversa (source: Google Earth; graphics processed by R. Bosco, 2021).

l'acqua inquinata di deflusso. Le aree pedonali sono state ripensate affiancando fasce vegetate ai marciapiedi, in base alla larghezza della sede stradale, per migliorare la percezione sensoriale e il comfort degli utenti ma anche per una diminuzione dell'impatto sonoro del traffico veicolare e un maggiore assorbimento degli inquinanti aerei. Inoltre, si sono ridisegnati gli spazi pedonali, integrandovi una pista ciclabile e ripensando i sensi di marcia per ridurre il traffico e l'inquinamento acustico (Fig. 3).

La scelta delle essenze arboree ha favorito quelle a basso costo di gestione e in grado di autoriprodursi negli ambienti di impianto, privilegiando specie vegetali endemiche, adatte alla fitodepurazione e alle esigenze di benessere degli utenti. Per soddisfare le richieste di ombreggiamento, smaltimento delle acque piovane e mitigazione delle condizioni microclimatiche, si sono scelte le specie con caratteristiche morfo-fisiologiche più adatte, preferendo le autoctone, con soluzioni che permettano la coesistenza di comunità vegetali con caratteristiche e funzioni differenti (Villarreal, Semadeni-Davies and Bengtsson, 2004). Inoltre, sono state previste pratiche di manutenzione che coinvolgano la cittadinanza nella cura del verde nei periodi dell'anno più critici dal punto di vista climatico. Per creare ombra e diminuire la temperatura sono state selezionate specie arboree a maggiore xericità tra cui specie sempreverdi quali il 'Quercus ilex'; si sono altresì aggiunti ai preesistenti, altri individui di tiglio, albero caducifoglie, che insieme al 'Cercis siliquastrum' risulta adatto a mitigare gli effetti negativi invernali. Per minimizzare i problemi gestionali, si è prevista l'adozione di involucri contenitivi adeguatamente dimensionati, per consentire l'espansione degli apparati radicali senza arrecare danni all'assetto viario (Strumia in Valente et alii, 2021a).

In questo studio si utilizzano, inoltre, tre distinte tipologie di analisi originali (puntuale, lineare, globale), appositamente elaborate per con-

frontare il livello di performance degli interventi ipotizzati attraverso l'uso del software ENVI-Met². Tali analisi hanno considerato la superficie trattata a verde, il numero di alberi, i rapporti BAF (Biotope Area Factor) e RIE (Riduzione Impatto Edilizio) tra le aree edificate e quelle permeabili, la profondità dei canyon urbani (Urban Aspect Ratio), oltre ai principali valori microclimatici (Oke, 1988; Fig. 4).

L'analisi puntuale individua i valori dei parametri considerati su una griglia opportunamente dimensionata per esaminare le condizioni microclimatiche di un'area circoscritta. La valutazione accurata delle condizioni dei luoghi selezionati in base agli indicatori da migliorare permette il confronto tra lo stato di fatto e il primo progetto 'A' (Fig. 5). L'analisi globale studia le variazioni dei parametri rilevati su tutta l'area in esame, per determinarne il comfort medio di fruizione; i valori ottenuti, riportati su un piano cartesiano sulle cui ascisse sono rappresentati i parametri e sulle cui ordinate la loro ricorrenza in valore percentuale, determinano un grafico che restituisce la variazione (Δ) presunta attraverso la funzione gaussiana (Fig. 6). L'analisi lineare, infine, permette di evidenziare gli andamenti dei parametri nelle sezioni urbane di aree soggette a condizioni climatiche critiche (Fig. 7). Ciò consente di controllare lo sviluppo lineare dei parametri microclimatici, concentrando l'attenzione su tratti specifici dei corridoi urbani e verificando i miglioramenti apportati dal progetto in prossimità dei nuovi elementi vegetali. La sovrapposizione grafica tra le sezioni stradali e l'andamento dei parametri microclimatici permette una lettura immediata delle condizioni specifiche dei tratti studiati. Ciascuna sezione è assimilabile a una condizione urbana tipica, replicabile in condizioni analoghe.

Inoltre, l'area di studio è stata modellata per simulare la condizione di maggior dis-comfort (ore 15:00), triplicando il numero degli alberi di progetto (Progetto B), al fine di definire una soglia di ef-

ficacia delle dimensioni degli interventi e dei gradi di trasformabilità (Valente et alii, 2021b).

I risultati delle modellazioni | Il ripensamento della componente vegetale dell'area come un insieme di dispositivi eco-tecnologici di integrazione tra le reti verdi, blu e grigie ha consentito di ottenere, nelle simulazioni fluidodinamiche di progetto, miglioramenti fino al 30% per il PMV, fino al 3% per la temperatura potenziale dell'aria e fino al 5% per la PET, attraverso l'uso del software ENVI-Met (Tab. 2). Gli esiti delle modellazioni mostrano come la combinazione di soluzioni tecniche e vegetali nelle GSI consente di collettare il 100% di acqua stimata per una pioggia di 30 minuti con tempo di ritorno ventennale, facilitando l'infiltrazione e l'assorbimento ed evitando la modifica del sistema di drenaggio delle acque meteoriche esistente. La soluzione studiata fornisce un incremento delle aree permeabili del 213%, con un beneficio in termini di verde urbano fruibile del 165%, vale a dire 2 mq di verde in più per abitante, rispetto ai 0,8 mq riscontrati. Questi risultati vengono confermati dai valori incrementati del 54 e 49% rispettivamente ottenuti per gli indicatori di qualità urbana del RIE e BAF (Tab. 3).

Per determinare i benefici economici, ci si è avvalsi del software i-Tree Eco che, pur se finalizzato all'analisi di aree verdi di maggiore estensione, ha consentito un calcolo approssimativo del valore dei servizi ecosistemici indotti. Si è assimilata l'area in oggetto a una foresta urbana diffusa, caratterizzata da essenze esistenti e di nuovo impianto, stimando la riduzione dell'inquinamento (carbonio netto sequestrato annualmente) e del valore economico compensativo del bosco urbano (Fig. 8).

La verifica dei miglioramenti ottenibili attraverso gli indicatori considerati è stata effettuata sulle due aree specifiche di Piazza Bernini e del parcheggio a raso tra la Piazza e Viale degli Artisti, ridisegnato integrando la vegetazione esistente con specie arboree compatibili ed ecologicamente efficaci ed inserendo sedute e attrezzature (Fig. 9). Nell'area di Piazza Bernini, per ridurre le temperature e i valori di PMV in estate e l'effetto del vento in inverno, si è previsto l'aumento del numero di alberi ad alto fusto, con disposizione a 'quinconce' per una barriera anti-vento e la sostituzione della pavimentazione in asfalto con una più adeguata anche al controllo dell'albedo (Fig. 10). Si è verificato, così, che la riqualificazione degli spazi aperti urbani attraverso un'adeguata progettazione del verde permette di migliorare i parametri microclimatici estivi senza alterare significativamente quelli invernali; in particolare, si riscontra la riduzione della temperatura dell'aria di circa un grado e il miglioramento del valore del PMV di circa mezzo punto.

La simulazione termo-fluidodinamica effettuata sullo schema di progetto triplicando il numero degli alberi (Progetto B) ha determinato un miglioramento rispetto alla modellazione dello stato di fatto pari al 33% per il PMV, al 3,4% per la Temperatura Potenziale, al 15% per la PET. Confrontando i risultati ottenuti dalle modellazioni sui progetti A e B, si osserva che il PMV migliora del 21%, la Temperatura Potenziale varia dello 0,8%, mentre la PET del 10%. Si desume che per ridurre i parametri microclimatici fino all'intervallo di comfort³, potrebbe occorrere un

ulteriore incremento del numero di alberi rispetto al Progetto A solo dello 0,8%, mentre il Progetto B supera il valore di comfort dello 0,40% (Tab. 4). L'interpretazione di questi dati ci consente di affermare che, pur avendo a disposizione spazi aperti di estensione ridotta, è possibile concorrere utilmente a ridurre il fenomeno dell'isola di calore urbana con una progettazione che utilizzi gli spazi verdi come risorsa ecologica attiva, riportando le condizioni ambientali entro le soglie di comfort.

Dal punto di vista economico, l'analisi costi-benefici ha permesso di determinare un VAN (Valore Attuale Netto) di 1,27 milioni di euro con un pay-back period di 5 anni grazie ai miglioramenti che il progetto apporta sia in termini di trasporto veicolare che per i nuovi alberi.

Riflessioni conclusive e proiezioni future | Le differenti metodologie sperimentate per la lettura dei dati di output del software ENVI-Met hanno consentito un approccio analitico nel processo di definizione degli interventi sulle aree in condizioni microclimatiche critiche, massimizzando i benefici derivanti dal progetto del verde urbano. L'applicazione dei metodi di analisi ha prodotto alcune considerazioni: in prima istanza, l'analisi globale risulta efficace per ampi spazi aperti, quali parchi urbani e grandi piazze, nei quali le condizioni climatiche sono omogeneamente distribuite. Questo tipo di analisi, che in un primo momento presentava problemi di affidabilità software nella simulazione delle condizioni ai bordi, è stata in seguito perfezionata nella sua ultima versione (5.0.2), raggiungendo un'accettabile affidabilità numerica. L'analisi puntuale è adatta a contesti a più alto indice di urbanizzazione, con maggiore efficacia in ambiti circoscritti quali strade, piazze e piccoli parchi urbani. In tale maniera, la valutazione del benessere microclimatico di queste aree, opportunamente inquadrate, non risente dell'eventuale errore dell'elaborazione del software lungo i margini. L'analisi lineare, infine, può essere utilizzata a supporto delle altre, in quanto permette descrizioni più dettagliate dell'area di studio per l'elaborazione di soluzioni specifiche.

Il lavoro presenta a studiosi e progettisti, oltre che a politici e tecnici delle Amministrazioni locali, una procedura flessibile per pianificare, progettare e controllare le infrastrutture verdi urbane e il loro contributo alla riqualificazione degli spazi aperti, favorendone una corretta gestione e fruizione, massimizzando i numerosi benefici ambientali e minimizzando i rischi.

La scelta di indagare sulle relazioni tra i diversi parametri ambientali considerati, correlandole alla configurazione degli spazi aperti urbani, costituisce un approccio innovativo alla riqualificazione ambientale di tali spazi. Il contributo è basato su una visione ecosistemica, che evidenzia limiti e caratteristiche del caso pilota a partire dall'inquadramento del sottobacino idrografico di riferimento e dal mosaico dei relativi micro-bacini. Inoltre, il processo metodologico ripercorre la dimensione interscalare nei due versi di percorrenza, dalla strategia generale alle soluzioni tecniche di dettaglio e viceversa. L'utilizzo combinato dei software di simulazione termofluidodinamica e di valutazione dei servizi ecosistemici, oltre al modello di lettura dei dati proposto,

Domain	Metrics
Hydraulics	% of collected rainwater – New permeable areas
Urban quality	Usable urban green areas – RIE – BAF
Microclimate	New shaded areas – PET – PMV – Air potential temperature
Socio-Economics	Bike path – Cost/Benefit Analysis

Tab. 1 | Project performance indicators (credit: the Authors, 2022).

permette di individuare con maggiore accuratezza i benefici del verde urbano derivanti dalla progettazione ambientale, sia a livello di benessere che di convenienza economica.

Nei casi di studio internazionali analizzati sono ogni volta considerati indicatori appartenenti a un unico dominio: ad esempio, uno studio su Colonia (Depietri, Welle and Renaud, 2013), evidenzia che i servizi ecosistemici risultano efficaci in termini di regolazione del microclima, ma molto meno in termini di depurazione dell'aria, mentre a New York, l'efficacia degli alberi nella rimozione degli inquinanti atmosferici è stata stimata su valori molto bassi (tra 0,001% e 0,4%) a seconda della sostanza (Nowak, Crane and Stevens, 2006). Tali risultanze specifiche, che talvolta possono risultare fuorvianti, suggeriscono l'opportunità di considerare in maniera integrata le relazioni tra i valori espressi da diversi domini di indicatori nel progetto delle infrastrutture verdi urbane. Ciò comporta, pertanto, uno studio dei luoghi come quello proposto, propedeutico alla selezione del set degli indicatori più adatti a raggiungere obiettivi tra di essi complementari (Losasso et alii, 2020).

Il caso di studio presenta una riqualificazione degli spazi aperti, utilizzando opportunamente aree in partenza residuali e convertendole in dispositivi attivi di trasformazione ecologica. Un ulteriore avanzamento in tale direzione di ricerca potrà individuare range di requisiti prescrivibili nella regolamentazione edilizia, per garantire efficaci prestazioni ambientali ai fini del miglioramento del comfort microclimatico locale. I limiti della ricerca risiedono nella parziale affidabilità delle simulazioni software che, basate su modellizzazioni dei luoghi, non riescono a gestire la loro reale complessità e nella limitata possibilità di raffronto dei dati calcolati con quelli delle centraline di rilevamento, spesso distanti dai luoghi analizzati o lacunose di uno storico dei rilevamenti che consenta un'efficace azione predittiva.

Vanno considerate, inoltre, la difficoltà di implementare le GSI in contesti di margine urbano e la gestione dell'elemento vegetale in termini di componente tecnico, in quanto organismo vivente. Per verificare la replicabilità di tale metodologia di valutazione dei benefici della vegetazione in contesti urbani morfologicamente e climaticamente eterogenei occorreranno ulteriori approfondimenti quali la selezione degli indicatori adatti e la scelta delle specie vegetali in relazione alle condizioni ambientali e alle richieste di comfort. Lo studio condotto, con la sua diversificata metodologia, incoraggia a ulteriori applicazioni in contesti urbani scarsamente monitorati, replicando il modello e adattandolo alle esigenze e alle specifiche caratteristiche, integrando le

tipologie di dati e di lettura degli stessi, per una progettazione accurata di spazi aperti urbani fruibili e accoglienti.

The nature-based transformation projects of man-made areas to be effective require identifying and understanding the systemic interrelations between the natural and built environments. In order to select sustainable design choices, it is fundamental to evaluate, together with local immediately achievable benefits, the potential of up-scaling or replicating the used solutions. The modified nature/artificiality paradigm needs an inter-scalar vision, following a systemic approach, capable of designing by using trans-disciplinary methods and practices (Albert et alii, 2021). The 'green' measures intrinsically carry solutions for the urban development, capable of answering the new challenges of human wellbeing, also promoting systemic biodiversity (Santolini, 2010).

The environmental requalification of the urban road infrastructure is the quintessential field in which traditionally separate intervention scales and scientific skills coexist: they must be adequately combined to create an integrated vision of grey, green and blue networks. The interscalar interpretation of the large area and local conditions permits to redesign outdoor spaces and mobility by following an ecosystemic approach, both through the urban plan, which controls changes from a strategic normative point of view, and technical nature-based solutions, locally applicable. The green infrastructures – by integrating criteria and tech-

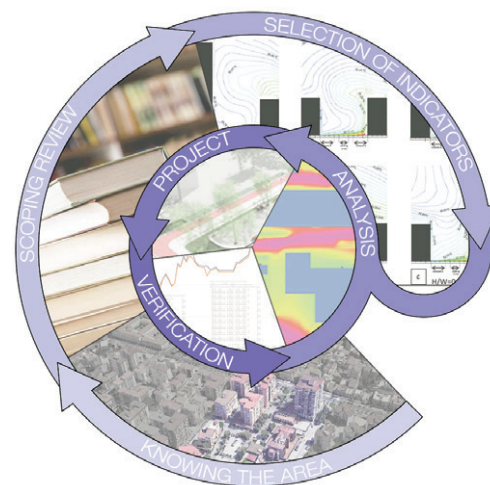


Fig. 2 | The repetition of the research/project method (credit: S. Giacobbe, 2022).



Fig. 3 | Project blueprint of the area of study (credit: S. Giacobbe, 2022).

niques for the sustainable project – represent the perfect framework to support the redesign of vegetation, stormwater runoff drainage (Hoyer et alii, 2011) and the channels for mobility, as it can be deduced from the already numerous uses described in manuals and reported in the scientific literature (Kurtz, 2009; Page, 2015; Valente, 2017; Losco, Macchia and Marino, 2013).

The old contraposition between natural and built/man-made environments is being gradually replaced by the concept of collaboration/integration between the two systems. This happens at the planning level, implementing Eco-Planning practices (Wong and Yuen, 2011) that tend to redevelop infrastructures for mobility and outdoor spaces in urban areas. At the implementation

stage, the use of environmental design criteria firsthand experiences the collaborative coexistence of grey, red, green and blue networks.

The uncontrolled expansion of man-made areas started in the 1950s has reduced the availability of physical space and the connection with nature, increasing the risks for human health, resulting from the increased density and climate change. The heat island characterizes the climate of many urban areas and has led to a further deterioration in the citizens' quality of life. These conditions have pushed to find multipurpose innovative solutions, using the greenery both as a natural and technical element, capable of integrating into the new buildings and starting a naturalization process in the cities.

The scientific proofs developed in a project funded by the 2015 PRIN¹ call for tenders have tested the effectiveness of the implementation of green infrastructures also in the cities of southern Italy. Based on the American experiences on Green Stormwater Infrastructure – GSI (Valente, 2017), a model for good practices was studied to sustainably handle stormwater runoffs on the streets in the environmental requalification process of an urban area north of Naples, analyzing the benefits deriving from the integration of Nature-based Solutions (Valente et alii, 2021a).

Objectives of the study | Inspired by the aforementioned principles, in the hypothesis of the redevelopment of urban outdoor spaces of a sam-

ple rational comprehensive city of an area north of Naples, the implementation of a GSI network was tested. The test considered a section of the local hydrographic network that has not been studied yet, for an urban greenery redesign aimed at studying the ecosystem services of nature-based solutions. The research aims to define a method to evaluate these benefits, by creating a ‘research through design’ able to compare the performance of the postulated interventions based on analyzes carried out at different scales.

Particular attention was paid to the interrelations between the results of the various selected indicators and the morphological and microclimatic conditions, to understand the environmental effects in the places of application. Therefore, the approach evaluates, the potential of up-scaling and/or replicating of a specific solution under different conditions, defining methods to obtain useful and high-quality data for planning projects. The study aims to show the benefits generated by holistic planning.

Eco-planning and sustainable regeneration |

The traditional urban design fragments and compromises the ecosystems as it affects water management, mobility, density and all other constituent elements of the urban environment. Eco-planning aims at bio-integrating man-made and natural subsystems to design four infrastructures: green for nature, blue for water, grey for engineering and red for humans. The latter includes the built environment, man activities and economic, legislative and social systems (Yeang, 2009).

The sustainable settlement redesign gives ecosystem services a fundamental role in transforming the territory; green infrastructures (Austin, 2014) are an opportunity to reach that objective. Equally important are the blue infrastructures, as the management of water resources will be one of the main challenges of the 21st century. The Water Sensitive Urban Design (Hoyer et alii, 2011) provides useful techniques to design a sustainable system for rainwater drainage. In this general picture, the GSI can be considered as a bio-integration/interaction technique between green and blue infrastructures with interconnections also to red and grey infrastructures.

The pilot case is part of a recent expansion district in Aversa (Fig. 1). After the Second World War, the city recorded a high impermeabilized land use not justified by its demographic increase (50,640 citizens; Istat, 2021), the main cause of a urban environmental quality worsening. From the Seventies until 2000 the urban design was regulated by a set of building regulations with a Construction Program and since 2001 with a still-in-force town planning scheme. The area extends for 8.26 ha, almost totally impermeabilised, while only 6.5% is landscaped. The main intended use is residential; there are also several services for public use that result in a high demand for mobility. The quantitative and qualitative census of the public and private green areas has allowed the creation of thematic maps that show a scarce presence of trees, resulting from the residual idea attributed to the greenery in designing the outdoor space.

The pilot case is representative of at least 70% of the Italian building heritage and can therefore be considered as an example to test the applica-

tion of a GSI network. Its results could be used both in urban planning tools and in building regulations.

Research through neighbourhood design |

The Research through Design places the environmental project at the core of the experimental investigation, based on study, record and assessment, identifying a research directed on site-specific requirements and one on general knowledge. In this sense, a study to requalify the pilot site was proposed, to extract survey templates and solutions replicable in similar conditions. Using the data coming from the site’s systematic survey and evolving its elaboration, a multiscale analysis method was defined. Starting from the meteorological and climatic data collected by Arpa Campania, it produced thermo-fluid dynamics simulations of PMV (Predicted Mean Vote), PET (Physiological Equivalent Temperature) and Potential Temperature of the place at 9 AM, 12 PM and 3 PM. Together with the operational aspects, the economic impact of ecosystem services provided by the used solutions was studied. It was useful to establish the best compromise between ecological efficiency and satellite activities.

Starting from wide area considerations typical of reference research, the drainage subbasin identified through the GIS application and the further micro-basins of the urban network of the pilot case were identified. Then, suitable indicators were selected to verify the effectiveness of the design choices made. The suited indicators (Tab. 1) were grouped by hydraulic, urban, microclimatic and economic performances (Losasso, 2017), obtaining an iterative research strategy with Analysis, Design and Verification stages, which made it possible to refine the results obtained, selecting the most suitable solutions (Fig. 2).

The inter-scalar dynamic of the research has allowed us to identify the areas in which to place the GSIs (Stormwater Bump-out, Stormwater Planter, Stormwater Rain Garden), after studying the water runoff paths to increase local permeability and vegetation, an active component of these infrastructures, since it purifies the polluted runoff water. The pedestrian areas have been redesigned by placing vegetative filter strips alongside the sidewalks, according to the width of the roadway, to improve the sensory perception and comfort of users but also to decrease the sound impact of vehicular traffic and to increase the absorption of air pollutants. Moreover, the pedestrian areas have been redesigned, integrating a cycle path, and changing the directions of traffic to reduce traffic and noise pollution (Fig. 3).

The tree crops chosen have a low maintenance cost and are capable of self-reproduce in the environment, preferring endemic plant species, suited to phyto-purification and the wellbeing needs of users. To satisfy the need for shading, stormwater drainage and mitigation of microclimatic conditions, the most suitable species with morpho-physiological characteristics were chosen. The indigenous plants were preferred, with solutions that allow the coexistence of plant associations with different characteristics and functions (Villarreal, Semadeni-Davies and Bengtsson, 2004). Moreover, maintenance practices have been envisaged to involve the citizens taking care of greenery during the most critical climate periods of the year. To provide shade and decrease the temperature, xer-

rophyte tree species were selected, including evergreen species such as ‘Quercus ilex’; other lime trees and deciduous trees have also been added to the pre-existing ones, together with ‘Cercis siliquastrum’ suitable for mitigating negative winter effects. To minimize maintenance problems, the use of adequately sized containment planters was envisaged, to allow the expansion of the roots without causing damage to the roads (Strumia in Valente et alii, 2021a).

In this study, three types of original analyzes are also used (punctual, linear, and global), purposely developed to compare the level of performance of the hypothesized interventions through the use of the ENVI-Met software². These analyzes have considered the green surface, the number of trees, the BAF (Biotope Area Factor) and the Construction Impact Reduction (CIR) reports

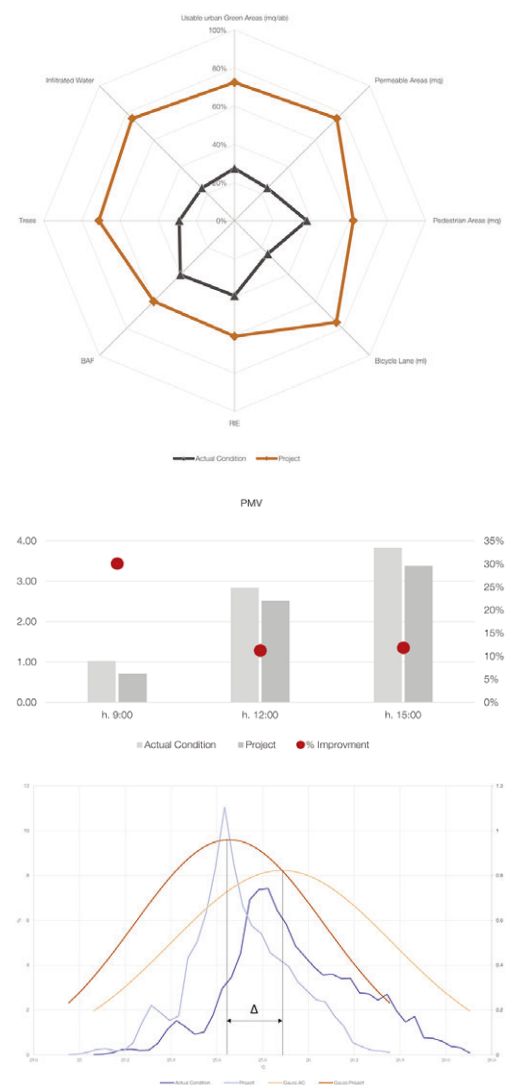


Fig. 4 | Comparison of the indicator values used for the study of the area between current condition and project (credit: the Authors, 2022).

Fig. 5 | Graphical representation of the Detailed Analysis for the PMV parameter; results obtained from the average of the values in summer show a 30% maximum improvement (credit: the Authors, 2022).

Fig. 6 | Graphical representation of the Global Analysis for the microclimatic parameter of the Potential Air Temperature; the approximation with a Gaussian function of the two indicative segments identifies, through the inter-axis Δ between the average values, the 1% micro-climatic improvement due to the project (credit: the Authors, 2021).



Fig. 7 | Graphical representation of the Linear Analysis for the Surface Temperature parameter in summer; the values for the current condition and project are represented in the section, where each point of the segment is the average of the hours 9 AM, 12 PM, and 3 PM, indicating a maximum microclimatic improvement of about 50% (credit: S. Giacobbe, 2021).

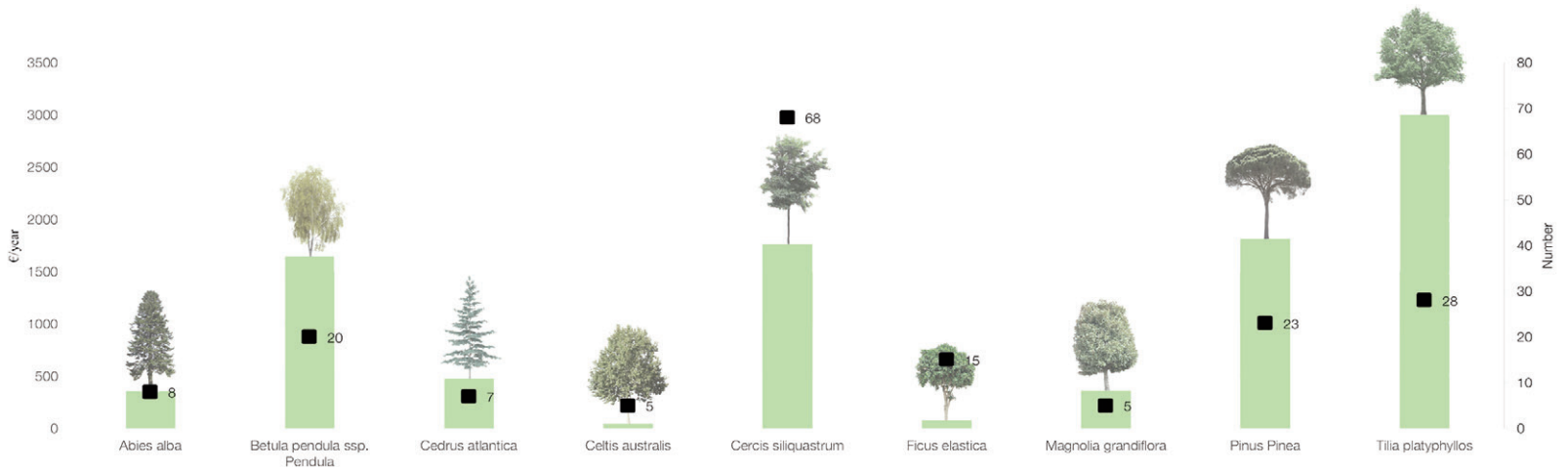
Summer	Actual Condition	h 9:00			h 12:00			h 15:00		
		Actual Condition	Project	% Improv.	Actual Condition	Project	% Improv.	Actual Condition	Project	% Improv.
PMV [-]	1.02	0.71	-30	2.84	2.52	-11	3.83	3.38	-12	
Potential Temperature [°C]	26.2	25.63	-2	30.36	29.61	-2.5	32.99	32.14	-2.6	
PET [-]	27.5	26.3	-4	36.3	34.5	-5	40.35	38.25	-5	

Winter	Actual Condition	h 9:00			h 12:00			h 15:00		
		Actual Condition	Project	% Improv.	Actual Condition	Project	% Improv.	Actual Condition	Project	% Improv.
PMV [-]	-3.6	-3.76	-4	-3.05	-3.16	-4	-3.12	-3.16	-1	
Potential Temperature [°C]	6.95	6.84	-2	8.21	8.06	-2	8.14	8.17	0.5	
PET [-]	6.25	5.71	-9	8.97	8.74	-3	8.78	11.26	28	

Tab. 2 | Detailed Microclimatic Analysis Table for summer and winter; by defining the percentage difference, it was possible to determine the variations between the current condition and the project, where the minus sign indicates an improvement for summer and discomfort for winter (credit: the Authors, 2022).

		Actual Condition	Project
Rainwater volume	[mc]	667.92	-
Rainwater volume managed	[mc]	-	848.06
Infiltrated water into the soil	[mc]	-	777.8
Water retention in sewer	[mc]	-	70.3
Public area permeability	[%]	6.5	17.3
Usable urban green areas	[mq/ab]	0.76	2.02

Tab. 3 | Modelling results (credit: the Authors, 2022).



between built and permeable areas, the value of urban canyons (Urban Aspect Ratio), and the main microclimatic values (Oke, 1988; Fig. 4).

The punctual analysis identifies the parameter values considered on an appropriately sized grid to examine the microclimatic conditions of a limited area. The careful evaluation of the selected places' conditions based on the indicators to improve allowed comparing the current condition and the first project 'A' (Fig. 5). The global analysis studies the parameter changes detected in the examined area, to determine the average comfort of usage. The values obtained – reported on a Cartesian plane where the parameters are represented on abscissas and their recurrence as a percentage on ordinates – determine a graph that shows the presumed variation (Δ) with a Gaussian function (Fig. 6). Finally, the linear analysis allows highlighting the trends of the parameters in urban sections of areas subject to critical climatic conditions (Fig. 7). This permits monitoring the linear development of the microclimatic parameters, focusing on specific parts of urban corridors, and verifying the improvements made by the project next to the new green elements. The visual overlap between the road sections and the trend of the microclimatic parameters allows us to immediately know the specific conditions of the sections studied. Each section is comparable to a typical urban condition, replicable under similar conditions.

Moreover, the area of study was modelled to simulate the most discomfort condition (3 PM), tripling the number of trees in the project (Project B), in order to define an effectiveness threshold for the size of the interventions and the degrees of transformability (Valente et alii, 2021b).

Modelling results | Redesigning the green component of the area as a set of eco-technological



Fig. 8 | Carbon Storage' results in €/year obtained by elaborating the project through i-Tree Eco software; the graph portrays the benefits with the histograms and the number of trees for each species with the points, permitting to compare their performance (credit: S. Giacobbe, 2022).

Fig. 9 | Top view of the 3D model of the project solution in Viale degli Artisti (credit: S. Giacobbe, 2021).

Fig. 10 | Detail of the Stormwater Planter designed in Piazza Bernini (credit: S. Giacobbe, 2021).

Summer Project Comparison	Actual Condition	h 15:00			
		Project A	Project B	% Improv. Project A	% Improv. Project B
PMV [-]	3.83	3.38	2.6	-12	-33
Potential Temperature [°C]	32.99	32.14	31.87	-2.6	-3.4
PET [-]	40.35	38.25	34.24	-5	-15

Tab. 4 | Comparison of the results obtained by the two fluid dynamics simulations (credit: the Authors, 2022).

tools to integrate green, blue and grey networks has allowed obtaining – in the project fluid dynamics simulations – improvements of up to 30% for the PMV, up to 3% for the potential air temperature, and up to 5% for PET, by using the ENVI-Met software (Tab. 2). The results of the modelling show that the combination of technical and vegetal solutions in the GSIs allows to collect 100% of the water estimated for rainfall of 30 minutes with a twenty-year return time, facilitating infiltration and absorption, avoiding modification of the existing stormwater runoff drainage system. The studied solution provides an increase of 213% in permeable areas, with a benefit of 165% on the accessible urban green, that is 2 square meters of green space per citizen, compared to the 0.8 square meters observed. These results are confirmed by the values increased of 54 and 49% respectively obtained for the CIR and BAF urban quality indicators (Tab. 3).

To determine the economical benefit, we have used the i-Tree Eco software. Although aimed at the analysis of larger green areas, it let to approximately calculate the value of the ecosystem services induced. The studied area was assimilated into a widespread urban forest, characterized by existing and newly planted trees, estimating the reduction of pollution (net carbon stored annually) and the compensatory economic value of the urban forest (Fig. 8).

The verification of the improvements that can be obtained with the considered indicators was carried out in two specific sections of Piazza Bernini and the ground-level parking lot between Piazza and Viale degli Artisti, redesigned by integrating the existing vegetation with compatible and ecologically effective tree species, adding seats and facilities (Fig. 9). In Piazza Bernini, to reduce temperatures and PMV values in summer and the effect of wind in winter, an increase of tall trees has been envisaged, arranged in a 'quinconce' to create a windproof barrier and the replacement of the asphalt pavement with a more suitable one also for controlling the albedo (Fig. 10). It has been verified that the redevelopment of urban outdoor spaces through an adequate greenery design allows improving the summer microclimatic parameters without significantly altering the winter ones; in particular, there is a reduction in the air temperature by about one degree and an improvement in the PMV value of about half a point.

The thermo-fluid dynamics simulation carried out using the project layout by tripling the number of trees (Project B) resulted in an improvement compared to the modelling of the current condition of 33% for PMV, 3.4% for Potential Temperature and 15% for PET. Comparing the results obtained by the modelling on A and B projects, it was noted that PMV improves by 21%, and the

Potential Temperature varies by 0.8%, while PET by 10%. Hence, to reduce the microclimatic parameters up to the comfort range³, a further increase in the number of trees could be required compared to Project A of only 0.8%, while Project B exceeds the comfort value of 0.40% (Tab. 4). The interpretation of these data allows us to state that, despite having limited open spaces available, it is possible to usefully contribute to reducing the heat island phenomenon with a design using green spaces as an active ecological resource, taking back the environmental conditions within the comfort thresholds.

Economically, the cost-benefit analysis has allowed determining an NPV (Net Present Value) of 1.27 million euros with a 5 years pay-back period, thanks to the improvements that the project brings both for vehicular transport and the new trees.

Final considerations and future developments

The different methods experimented to interpret the output data of the ENVI-Met software have allowed an analytical approach in the process of defining interventions in areas with critical microclimatic conditions, maximizing the benefits deriving from the urban green project. The application of the analysis methods has produced some considerations. First, the global analysis is effective for large outdoor spaces, such as urban parks and large squares, in which the climatic conditions are homogeneously distributed. In the beginning, this kind of analysis showed software reliability problems in simulating margins conditions, but it has been improved in its last version (5.0.2), obtaining acceptable numerical reliability. The punctual analysis is suited for context with a higher urbanization index, more effective in limited areas such as streets, squares, and small urban parks. Therefore, the evaluation of the microclimatic wellbeing of these areas, properly localized, is not affected by any software processing error along the margins. The linear analysis can be used to support the others since it allows detailed descriptions in the field of study to elaborate specific solutions.

The paper presents to scholars and designers, politicians and local authorities, a flexible procedure to plan, design, and control urban green infrastructures and their contribution to the requalification of outdoor spaces, promoting proper management and enjoyment, maximizing the numerous environmental benefits and minimizing risks.

Choosing to investigate the relations among the different environmental parameters considered, linking them to the configuration of urban outdoor spaces, is an innovative approach to their environmental requalification. The paper is based on an ecosystemic vision, highlighting the limits and characteristics of the pilot case, starting from

the classification of the reference hydrographic sub-basin and the mosaic of the related micro-basins. Moreover, the methodological process goes in both directions in the interscalar dimension, from the general strategy to the detailed technical solutions and vice versa. The joint use of the thermo-fluid dynamics simulation and ecosystem services evaluation software, together with the reading model of the proposed data, allows us to identify with greater accuracy the benefits of urban green areas deriving from environmental design, both for wellbeing and economic convenience.

In the analyzed international case studies, the indicators belonging to a single domain are considered each time. For example, a study in Cologne (Depietri, Welle and Renaud, 2013) showed that ecosystem services are effective for regulating the microclimate, but way less effective for air pollution removal; while in New York, the effectiveness of trees in air pollution removal was estimated to be very low (between 0.001% and 0.4%) depending on the pollutant (Nowak, Crane and Stevens, 2006). These specific results, which sometimes can be misleading, suggest the opportunity to consider as integrated the relationships between the values expressed by different indicator domains in the urban green infrastructures project. Therefore, this implies a study on the places such as the one proposed, introductory to the selection of the set of indicators most suitable for achieving complementary objectives (Losasso et alii, 2020).

The case study presents the requalification of outdoor spaces, appropriately using initially residual areas by converting them into active devices of ecologic transformation. A further improvement for the research could find a range of requirements prescribed in the building regulation, to guarantee effective environmental performances with the aim of improving local microclimatic comfort. The limits of the research are the partial reliability of software simulations which, based on place modellings, are unable to manage their real complexity and have little chance to compare the calculated data with those of the control units, often far from the places analyzed or lacking a survey history that allows an effective prediction.

Moreover, the difficulties of implementing the GSIs in neglected urban contexts and the management of the technical component of the greenery, as a living organism, should be considered. To verify the replicability of this vegetation benefits evaluation method in morphologically and climatically heterogeneous urban contexts further details will be needed. For example, selecting suitable indicators and choosing plant species considering environmental conditions and requests for comfort. The study carried out encourages, with its diverse methodology, further applications in poorly monitored urban contexts, replicating the model and adapting it to the needs and specific characteristics – integrating the types of data and their interpretation – for an accurate design of accessible and welcoming outdoor urban spaces.



Fig. 11 | District Department of Energy and the Environment Headquarter, innovative curbside bioretention in the street right of way (credit: Prospect Waterproofing Co. – Green Roof, EcoSolutions – Bioretention, District Department of Energy and the Environment).

Acknowledgements

The paper is the result of a joint reflection by the authors. However, the introduction paragraph was written by R. Bosco, the paragraph ‘Eco-Planning and sustainable regeneration’ by S. Losco, the paragraph ‘Research through neighbourhood design’ by R. Valente, the paragraph ‘Modelling results’ by S. Giacobbe.

Notes

1) 2015 PRIN ‘Adaptive design – Technological innovations for resilient regeneration of urban districts under climate change’; Principal Investigator: M. Losasso; Research Unit Leader of the ‘Luigi Vanvitelli’ University of Campania: R. Valente.

2) The microclimatic and perception values of the area were modelled on 31/07/2018 and 26/02/2019, respectively the hottest and coldest days of the last two years. For further information, see the Arpac website at: cemecc.arpacampania.it/meteoambientecampania/php/ [Accessed 20 April 2022]

3) The comfort of the Predicted Mean Vote ranges from -3 to +3.

References

Albert, C., Brillinger, M., Guerrero, P., Gottwald, S., Henze, J., Schmidt, S., Ott, E. and Schröter, B. (2021), ‘Planning nature-based solutions – Principles, steps, and insights’, in *Ambio*, vol. 50, pp. 1446-1461. [Online] Available at: doi.org/10.1007/s13280-020-01365-1 [Accessed 20 April 2022].

Austin, G. (2014), *Green infrastructure for landscape planning – Integrating human and natural system*, Routledge.

Depietri, Y., Welle, T. and Renaud, F. G. (2013), ‘Social vulnerability assessment of the cologne urban area (Germany) to heat waves – Links to ecosystem services’, in *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 6, pp. 98-117. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ijdr.2013.10.001 [Accessed 20 April 2022].

Hoyer, J., Dickhaut, W., Kronawitter, L. and Weber, B. (2011), *Water Sensitive Urban Design – Principles and Inspiration for Sustainable Stormwater Management in the City of the Future*, Jovis, Berlin (DE).

Istat (2021), *Popolazione residente al 1° Gennaio 2021 per sesso, età e stato civile (n) – Comune: Aversa*. [Online] Available at: demo.istat.it/popres/index.php?anno=2021&lingua=ita [Accessed 14 April 2022].

Kurtz, T. (2009), ‘Managing Street Runoff with Green Streets’, in She, N. and Char, M. (eds), in *International Low Impact Development Conference Low Impact Development for Urban Ecosystem and Habitat Protection 2008, November 16-19, 2008, Seattle, Washington, United States*, American Society of Civil Engineers Book Series, pp. 1-10. [Online] Available at: doi.org/10.1061/9780784410097 [Accessed 20 April 2022].

Losasso, M. (2017), ‘Progettazione ambientale, rischi climatici, resilienza del costruito | Environmental design, climate risks, construction resilience’, in D’Ambrosio, V. and Leone, M. F. (eds), *Progettazione ambientale per l’adattamento al Climate Change – 2. Strumenti e indirizzi per la riduzione dei rischi climatici | Environmental Design for Climate Change Adaptation – 2. Tools and Guidelines for Climate Risk Reduction*, CLEAN, Napoli, pp. 152-169.

Losasso, M., Lucarelli, M. T., Rigillo, M. and Valente, R. (eds) (2020), *Adattarsi al clima che cambia – Innovare la conoscenza per il progetto ambientale | Adapting to the Changing Climate – Knowledge Innovation for Environmental Design*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN).

Losco, S., Macchia, L. and Marino, P. (2013), ‘Water Sensitive Urban Planning and soil consumption – The case-study of Aversa town and its conurbation’, in Ural, O., Pizzi, E. and Croce, S. (eds), *Changing Needs, Adaptive Buildings, Smart Cities – XXXIX World Congress on Housing Science*, vol. 1, International Association for Housing Science (IAHS), Milano, pp. 1349-1356.

Nowak, D. J., Crane, D. E. and Stevens, J. C. (2006), ‘Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States’, in *Urban Forestry & Urban Greening*, vol. 4, issues 3-4, pp. 115-123. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ufug.2006.01.007 [Accessed 20 April 2022].

Oke, T. R. (1988), ‘Street Design and Urban Canopy Layer’, in *Energy and Buildings*, vol. 11, issues 1-3, pp. 103-113. [Online] Available at: [doi.org/10.1016/0378-7788\(88\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6) [Accessed 20 April 2022].

Page, J. L., Winston, R. J., Mayes, D. B., Perrin, C. and Hunt, W. F. (2015), ‘Retrofitting with innovative stormwater control measures – Hydrologic mitigation of impervi-

ous cover in the municipal right-of-way’, in *Journal of Hydrology*, vol. 527, pp. 923-932. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.04.046 [Accessed 20 April 2022].

Santolini, R. (2010), ‘Servizi ecosistemici e sostenibilità’, in *Ecoscienza*, vol. 3, pp. 20-23. [Online] Available at: isprambiente.gov.it/files/biodiversita/Santolini_2010_Servizi_ecosistemici.pdf [Accessed 20 April 2022].

Valente, R., Mozingo, L. A., Bosco, R., Cozzolino, S., De Falco, C., Di Nardo, A., Di Natale, M., Donadio, C., La Rocca, F., Perneti, M., Strumia, S., Ruberti, D., Vigliotti, M., Bosco, R., Cappelli, E., Ferrara, P. and Moccia, G. (2021a), ‘Green street framework per aree urbane marginali mediterranee’, in Bologna, R., Losasso, M., Mussinelli, E. and Tucci, F. (eds), *Dai Distretti Urbani agli Eco-distretti – Metodologie di Conoscenza, Programmi Strategici, Progetti pilota per l’Adattamento Climatico | From Urban Districts to Eco-districts – Knowledge Methodologies, Strategic Programmes, Pilot Projects for Climate Adaptation*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN).

Valente, R., Mozingo, L., Bosco, R., Cappelli, E. and Donadio, C. (2021b), ‘Environmental Regeneration Integrating Soft Mobility and Green Street Networks – A Case Study in the Metropolitan Periphery of Naples’, in *Sustainability*, vol. 13, issue 15, 8195, pp. 1-22. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su13158195 [Accessed 20 April 2022].

Valente, R. (2017), ‘Water sensitive urban open spaces – Comparing North American best management practices’, in *UPLand | Journal of Urban Planning, Landscape & Environmental Design*, vol. 2, n. 3, pp. 285-297. [Online] Available at: doi.org/10.6092/2531-9906/5421 [Accessed 20 April 2022].

Villarreal, E. L., Semadeni-Davies, A. and Bengtsson, L. (2004), ‘Inner city stormwater control using a combination of best management practices’, in *Ecological Engineering*, vol. 22, issues 4-5, pp. 279-298. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.06.007 [Accessed 20 April 2022].

Yeang, K. (2009), *Ecomasterplanning*, John Wiley & Sons, London (UK).

Wong, T.-C. and Yuen, B. (eds) (2011), *Eco-city Planning – Policies, Practice and Design*, Springer, Dordrecht (NL).