

Francesca Mosca, <https://orcid.org/0000-0001-8898-8727>

Gabriele Oneto, <https://orcid.org/0000-0003-3621-1179>

Martina Guasco, <https://orcid.org/0009-0002-3104-3284>

Katia Perini, <https://orcid.org/0000-0003-0415-8246>

Dipartimento di Architettura e Design, Università degli Studi di Genova, Italia

[francesca.mosca@edu.unige.it](mailto:francesca.mosca@edu.unige.it)

[gabriele.oneto@edu.unige.it](mailto:gabriele.oneto@edu.unige.it)

[martina.guasco@edu.unige.it](mailto:martina.guasco@edu.unige.it)

[katia.perini@unige.it](mailto:katia.perini@unige.it)

**Abstract.** Questo articolo mira alla definizione di una metodologia ed un approccio operativo per ottimizzare la posizione, la forma e la dimensione di alberi (o altre *Nature-based Solutions*, NbS) nella morfologia urbana per ridurre localmente il fenomeno isola di calore (UHI) e identificare alcune correlazioni tra configurazioni urbane e prestazioni delle NbS. Tale obiettivo si pone nell'ottica di superare le limitazioni attuali che vedono la mancanza di un approccio sistematico per massimizzare le prestazioni delle NbS per la riduzione locale dell'UHI. Sulla base del modello teorico di canyon urbano, l'approccio teorico e computazionale proposto prevede la definizione dei principali indicatori di prestazione ed il relativo calcolo per implementare una ottimizzazione multi-obiettivo.

**Parole chiave:** Isola di calore; *Nature-based solutions*; Ottimizzazione multi-obiettivo; Indicatori chiave di prestazione; Adattamento al cambiamento climatico.

## Introduzione

Le emissioni di gas serra legate alle attività antropiche sono tra i principali motori del cambiamento climatico, come confermato dal report scientifico dell'IPCC (IPCC, 2021). L'aumento esponenziale dei conseguenti effetti sull'ambiente pone la necessità di intraprendere simultaneamente strategie di mitigazione ed adattamento (Kundzewick and Matczak, 2012), intervenendo primariamente in termini di decarbonizzazione, ma anche di aumento della resilienza di ambienti urbani e rurali (Marrone and Orsini, 2018). Conseguentemente ai fenomeni di espansione e cementificazione urbana, come segnalato dal Competence Centre on Foresight (2020), il fenomeno dell'isola di calore (UHI) risulta essere un comune denominatore nelle problematiche di surriscaldamento urbano. Le cause dell'UHI sono attribuibili a fattori antropici, morfologici e climatici, tra i

quali si menzionano: emissioni di gas serra, alta densità costruttiva, aumento di superfici cementificate e impermeabili, caratterizzate da bassi livelli di albedo, ridotta presenza di aree verdi e superfici permeabili, lontananza da corsi d'acqua, ed aree costiere e scarsa ventilazione per posizione geografica o conformazione urbana. L'UHI è inoltre responsabile di elevata richiesta energetica per raffrescamento degli edifici e per tale motivo relative strategie di mitigazione sono rilevanti in un'ottica di decarbonizzazione (Boudali Errebai *et al.*, 2022).

Il fenomeno UHI si verifica all'interno dell'*Urban Boundary Layer* (UBL) delle città, stratificandosi in due livelli: il primo più prossimo alla superficie – *Surface Urban Heat Island* (SUHI), il secondo compreso tra la superficie calpestabile e l'altezza finita degli edifici – *Canopy Urban Heat Island* (CUHI). Per definizione, all'interno dei rispettivi livelli SUHI e CUHI, si riscontra un significativo aumento delle temperature superficiali (LST) rispetto ai medesimi valori rilevabili in aree rurali. Tra le linee guida europee ed i conseguenti piani di resilienza climatica, l'implementazione di superfici verdi e permeabili, rappresenta uno strumento efficace al contrasto dell'aumento della temperatura superficiale.

Le *Nature-based Solutions* (NbS), definite dalla Commissione Europea "Solutions that are inspired and supported by nature, which are cost-effective, simultaneously provide environmental, social and economic benefits and help build resilience" (European Commission, 2022), e in particolare gli spazi verdi urbani, possono contribuire alla riduzione delle emissioni gra-

Data reasoning to shape tree patches: optimising climate change adaptation in urban canyons

**Abstract.** This paper aims to define a methodological framework and an operational approach for optimising the location, shape, and size of trees (or other NbS) within the surrounding urban morphology to locally reduce the urban heat island (UHI) effect and identify correlations between urban configurations and NbS performance. The goal is to overcome current limitations, which include the lack of a systematic approach to maximising NbS performance in locally mitigating UHI. Based on the model of the urban canyon, the proposed theoretical and computational approach includes the definition of key performance indicators and their calculation to implement a multi-objective optimisation.

**Keywords:** Urban heat island; *Nature-based solutions*; Multi-objective optimisation; Key performance indicators; Climate adaptation.

## Introduction

Greenhouse gas emissions produced by human activities are among the primary drivers of climate change, as confirmed by the IPCC scientific report (IPCC, 2021). The exponential increase in the related effects on the environment necessitates the simultaneous adoption of mitigation and adaptation strategies (Kundzewick and Matczak, 2012), focusing primarily on decarbonisation, but also on enhancing the resilience of urban and rural environments (Marrone and Orsini, 2018).

As a result of urban expansion, as noted by the Competence Centre on Foresight in 2020, the urban heat island (UHI) effect has become a common denominator in urban overheating issues. The causes of UHI can be attributed to anthropogenic, morphological, and climatic factors, includ-

ing greenhouse gas emissions, high building density, an increase in paved and impermeable surfaces featuring low albedo levels, reduced presence of green spaces and permeable surfaces, distance from water bodies and coastal areas, and poor ventilation due to geographic location or urban configuration. The UHI is responsible for higher cooling demands, therefore UHI mitigation strategies are relevant when speaking about decarbonisation (Errebai *et al.*, 2022).

The UHI phenomenon occurs within the Urban Boundary Layer (UBL) of cities, stratifying into two levels: the first is closest to the surface – *Surface Urban Heat Island* (SUHI), and the second is between the walkable surface and the finished height of the buildings – *Canopy Urban Heat Island* (CUHI). Within the respective SUHI and CUHI levels, there is a significant in-

zie allo stoccaggio di carbonio (“Nature-based solutions can pave the way to carbon-neutral cities in 2030”). Attraverso la capacità di raffrescamento della vegetazione, gli spazi verdi al suolo svolgono una importante azione di regolazione microclimatica, contribuendo alla mitigazione del fenomeno isola di calore (Marando *et al.*, 2022). Diversi studi mostrano che la disposizione di alberi e arbusti, in relazione allo spazio costruito, permette di massimizzare le prestazioni, ombreggiando (e quindi riducendo le temperature superficiali) superfici asfaltate e costruite (Perini *et al.*, 2018).

Un concetto ampiamente utilizzato in letteratura per studi sulle prestazioni degli agglomerati urbani in relazione a diverse problematiche ambientali è il *canyon* urbano: un modello concettuale nel quale le geometrie della città sono semplificate e modellate in funzione della dimensione degli edifici (altezza, profondità) e della loro distanza (Salvati *et al.*, 2020). L'utilizzo di questo tipo di modelli è particolarmente indicato per approfondire la relazione tra caratteristiche geometriche delle aree urbane e le relative condizioni microclimatiche, che possono influenzare il comfort termico, ma anche le prestazioni energetiche degli edifici, così come la concentrazione di polveri sottili (Kim and Brown, 2023).

Affermato questo, il corretto inserimento delle soluzioni verdi di mitigazione e adattamento deve essere funzionale per la piena riuscita progettuale (Augusto *et al.*, 2020). Le principali criticità che si riscontrano negli interventi di rinverdimento urbano derivano dalla mancata, o insufficiente, attenzione pianificatrice a diverse scale. Per primo, le prestazioni effettive della NbS dipendono non solo da sfide di compatibilità ingegneristica (sistemi di irrigazione, ombreggiamento, contenimento),

ma anche ecologica (compatibilità di specie al clima locale, contaminazione con semi aerei, foraggiamento e nidificazione di specie animali) (Knapp and MacIvor, 2023). Secondariamente, la considerazione che l'efficacia a scala urbana delle NbS si può ottenere attraverso interventi localmente specifici. Per esempio, in funzione delle caratteristiche e necessità del sito, anche soluzioni a scala più ridotta possono essere comunque performanti a livello urbano, permettendo di agire in maniera efficace anche in aree molto densamente costruite, con ridotta disponibilità di spazi (Salvati *et al.*, 2020).

Se la caratterizzazione del sito può essere dedotta con criteri tradizionali come le *Local Climate Zones* (Fernandes *et al.*, 2023), la semplificazione che deriva può impedire un calcolo accurato delle prestazioni delle NbS, data dalla mancanza di dati geometrici e climatici. Per superare quindi le criticità, è necessario innanzitutto costruire un abaco di soluzioni a verde, e successivamente, valutarne gli effetti sulla morfologia urbana attraverso modelli che riescono maggiormente a rappresentare la complessità locale (Salvati *et al.*, 2020). Sulla base del contesto nel quale questa ricerca si colloca, gli obiettivi della ricerca qui presentata sono (1) definire una metodologia per ottimizzare la progettazione delle NbS per migliorare la qualità e l'adattamento rispetto l'isola di calore in ottica di decarbonizzazione, attraverso la creazione di un catalogo di diverse combinazioni di NbS per un determinato sito, e (2) testare la metodologia definita attraverso l'applicazione su un caso di *canyon* urbano esistente.

## Metodologia

La ricerca definisce una metodologia per ottimizzare la posizione delle NbS in diverse configurazioni di *canyon* urbani per

crease in surface temperatures (Land Surface Temperature, LST) compared to the same values found in rural areas. According to European guidelines and subsequent climate resilience plans, the implementation of green and permeable surfaces is an effective tool in combatting the increase in surface temperatures (LST).

Nature-based Solutions (NbS), defined by the European Commission as “Solutions that are inspired and supported by nature, which are cost-effective, simultaneously provide environmental, social, and economic benefits and help build resilience”, especially urban green spaces, can contribute to reducing emissions through carbon sequestration. Through the cooling capacity of vegetation, ground-level green spaces play an important role in microclimate regulation, helping to mitigate the urban heat island effect.

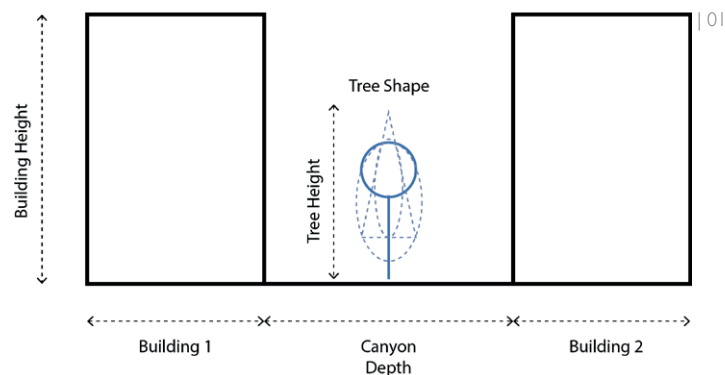
Various studies show that the arrangement of trees and shrubs in relation to built areas can maximise performance by shading (and thus reducing surface temperatures on) paved and constructed surfaces.

A widely used concept in the literature for studying the environmental performance of urban areas is the urban canyon, a conceptual model in which city geometries are simplified and modelled based on building dimensions (height, depth) and their spacing (Salvati *et al.*, 2020). The use of such models is particularly suitable for exploring the relationship between the geometric characteristics of urban areas and their microclimatic conditions, which can affect thermal comfort, as well as the energy performance of buildings and the concentration of fine particulate matter (Woong Kim and Brown, 2023).

The proper integration of nature-based mitigation and adaptation solutions is crucial for successful design outcomes (Augusto *et al.*, 2020). The main challenges encountered in urban greening interventions stem from insufficient planning attention across different scales. Firstly, the actual performance of NbS depends not only on engineering compatibility challenges (such as irrigation systems, shading, containment) but also on ecological factors (such as the compatibility of species with the local climate, contamination with airborne seeds, and foraging and nesting of animal species) (Knapp and MacIvor, 2023). Secondly, it must be considered that these interventions have an impact on an urban scale. Indeed, non-standardised schemes can be used for operations addressing overheating issues. Depending on the site's characteristics and needs, even

smaller-scale solutions can be effective, allowing for impactful action even in densely built-up areas with limited space availability.

While site characterisation can be derived from traditional criteria such as Local Climate Zones (Fernandes *et al.*, 2023), the resulting simplification may prevent an accurate calculation of NbS performance due to lack of geometric and climatic data. To overcome the critical issues, it is necessary to first build an abacus of green solutions and, then, to evaluate its effects on urban morphology through models that better represent local complexity (Salvati *et al.*, 2020). Based on the context described herein, the objectives of the research presented are (1) to define a methodology for optimising the design of Nature-based Solutions (NbS) in view of adaptation to the urban heat island effect and achieving decarboni-



massimizzare le loro prestazioni in termini di regolazione microclimatica. Tale metodologia può essere utilizzata come strumento per guidare la pianificazione e progettazione di aree urbane in un'ottica di miglioramento delle capacità locali di adattamento al cambiamento climatico. In particolare, la metodologia si basa innanzitutto sulla definizione dei parametri per la modellazione del contesto urbano. Il concetto di *urban canyon* (Nunez and Oke, 1976), ampiamente utilizzato in ambito scientifico per studi sul microclima esterno, si fonda sulla semplificazione geometrica di configurazioni urbane, in funzione dell'altezza degli edifici e della distanza tra di essi. In aggiunta a tali parametri fondamentali, in questo studio è stata posta particolare attenzione alle caratteristiche geometriche delle NbS (specificatamente, degli alberi). Riguardo alla forma dell'albero, la chioma sferica è stata selezionata come esempio generale (Pelletier, Landry and Girouard, 2016), per il quale l'altezza dell'albero, il diametro del tronco e diametro della chioma sono stati definiti (Fig. 1). Riguardo questo aspetto, i modelli formali per le NbS sono stati definiti per poter simulare possibili variazioni di forma teoriche, che possono descrivere eventuali mutamenti temporali e/o dovute a cambiamenti nelle condizioni ambientali di riferimento.

Successivamente, la definizione dei range delle condizioni al contorno permette di definire i limiti dello studio. Tali condizioni, geografiche, climatiche e morfologiche, sono considerate in relazione alle condizioni urbane tipiche della penisola italiana, selezionata come area di riferimento (Tab. 1). Sebbene diverse tipologie di NbS possano essere considerate per il miglioramento delle condizioni microclimatiche di un *canyon* urbano, come arbusti, superfici orizzontali e verticali inverdite, questo

studio si concentra sulle prestazioni degli alberi, in quanto costituiscono una delle soluzioni più performanti in relazione a diversi aspetti (contributo d'ombra, stoccaggio di carbonio, captazione polveri sottili).

Dal punto di vista operativo, il *canyon* urbano e le relative NbS sono modellate parametricamente all'interno dell'ambiente McNeel Rhinoceros 3D, attraverso l'utilizzo dei plugin Grasshopper e Ladybug per l'analisi microclimatica ([www.ladybug.tools](http://www.ladybug.tools)). Data una superficie di 100mx100m, considerata area d'interesse, il *canyon* è modellato stabilendo range di valori (definiti nella fase precedente) per altezza degli edifici del *canyon*, e distanza tra i due edifici. All'interno dell'area effettiva di *canyon*, definita come superficie tra i due edifici come una griglia 1x1m, diverse tipologie di NbS possono essere disposte (filare singolo, filare doppio, gruppo di alberi). L'utilizzo di un approccio parametrico permette di variare in tempo reale le condizioni di *canyon* e poter individuare per ogni configurazione le relative soluzioni più performanti.

In relazione al processo di ottimizzazione, si seleziona un gruppo di cinque obiettivi secondo cui ottimizzare la NbS, in relazione agli obiettivi dello studio, usando indicatori di prestazione (KPI) ricorrenti in letteratura precedentemente individuati (Mosca *et al.*, 2023) (Tab. 2). Il processo definito permette di ottimizzare, per un dato *canyon* urbano, la progettazione della

sation by creating a catalogue of various NbS combinations for a specific site, and (2) to test the defined methodology by applying it to an existing urban canyon, used as a case study.

## Methodology

The research defines a methodology to optimise the placement of NbS across different urban canyon configurations in order to maximise their performance in terms of microclimatic regulation. This methodology can serve as a tool to guide urban planning and design with a view toward enhancing local adaptation capabilities to climate change. Specifically, the methodology begins with defining parameters for modelling the urban context. The concept of the urban canyon (Nunez and Oke, 1976), widely used in scientific studies on microclimates, is based on the geometric simplification

of urban configurations in terms of building height and the distance between them. In addition to these core parameters, this study pays particular attention to the geometric characteristics of NbS (specifically, trees). Regarding tree shape, a spherical canopy was selected as a general example (Pelletier, Landry, and Girouard, 2016), for which tree height, trunk diameter, and canopy diameter were defined (Fig. 1). Concerning this aspect, formal models for NbS were developed to simulate possible theoretical shape variations that could describe potential temporal changes and/or variations due to changes in environmental conditions. Subsequently, defining the range of boundary conditions is essential to establish the study's limits. These geographic, climatic, and morphological conditions are considered in relation to typical urban conditions of the Italian

peninsula, selected as the reference area (Tab. 1). Although various types of NbS can be considered for improving microclimatic conditions in an urban canyon – such as shrubs, horizontal and vertical greening surfaces – this study focuses on tree performance, as trees are one of the most effective solutions for several aspects (shade provided, carbon storage, fine particulate capture). From an operational perspective, the urban canyon and associated NbS are parametrically modelled within the McNeel Rhinoceros 3D environment, using Grasshopper and Ladybug plugins for microclimatic analysis ([www.ladybug.tools](http://www.ladybug.tools)). For an area of 100m x 100m designated as the area of interest, the canyon is modelled by establishing value ranges (defined in the previous phase) for canyon building height and distance between the two buildings. Various types of NbS (sin-

gle row, double row, group of trees) can be arranged within the effective canyon area, defined as the surface between the two buildings and characterised by a 1x1m grid. A parametric approach allows real-time variations in canyon conditions, enabling the identification of the most effective solutions for each configuration. In terms of the optimisation process, a set of five objectives is selected to make the most of the NbS, in line with the study's objectives, using recurring KPIs previously identified from the literature (Mosca *et al.*, 2023) (Tab. 2). The defined process allows for the optimisation of NbS design in a given urban canyon to locally maximise microclimate regulation, enhancing the percentage of shaded (mean radiant temperature reduction) area while minimising the final biomass value (m<sup>3</sup>), which can be considered

Tab. 01 | Elementi definitori del canyon urbano con NbS e relativi range  
*Urban canyon and NbS features and relative thresholds*

Tab. 02 | KPI per ottimizzazione multicriteria della NbS attraverso la riduzione della temperatura locale e minimizzazione delle piante introdotte  
*KPIs for NbS multi-criteria optimisation through the reduction of local temperature and minimisation of plants introduced*

Tab. 01 |

| Parametri                             | Soglie                                                                                                          |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Altezza degli edifici                 | Min: 10 metri<br>Max: in funzione delle Local Climate Zones di Oke                                              |
| Distanza tra i due edifici del canyon | Min: 10 metri (da normativa italiana),<br>Max: Altezza massima degli edifici.                                   |
| Tipologia di piante (NbS)             | Alberi,<br>Arbusti,<br>Superficie vegetata orizzontale,<br>Superficie vegetata verticale (NbS handbook, 2021).  |
| Geometria dell'albero                 | Chioma sferica, colonnare, conica, ed ovale (Pelletier, Landry and Girouard, 2016)                              |
| Altezza dell'albero                   | I ordine < 10 meters<br>II ordine: 10-16 meters<br>III ordine > 16 meters<br>(coerente con normative regionali) |

Tab. 02 |

| Key Performance Indicator (KPI)       | Metodologia                                                                                                                                                                                                                                        | Criterio di ottimizzazione |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Temperatura media radiante (MRT)      | La MRT è ottenuta attraverso il plugin Ladybug, con un <i>EnergyPlusWeather</i> (.epw) del caso studio.                                                                                                                                            | Min                        |
| Superficie a terra ombreggiata (%)    | Il rapporto è ottenuto tra la somma delle aree ombreggiate (da NbS ed edifici) e la superficie totale libera a terra.                                                                                                                              | Max                        |
| Superficie su edifici ombreggiata (%) | Rapporto tra la somma delle aree proiettate delle massime circonferenze delle NbS e la superficie degli involucri degli edifici nel canyon.                                                                                                        | Max                        |
| Volume totale NbS (m3)                | La NbS (albero) è schematizzata con un tronco cilindrico e una chioma poligonale. Il volume totale della NbS può essere utilizzato come dato per calcolarne la biomassa, data una certa densità, e la relativa capacità di stoccaggio di carbonio. | Min                        |
| Superficie coperta da verde (%)       | La superficie è ottenuta come rapporto tra la somma delle massime circonferenze orizzontale delle NbS e la superficie totale.                                                                                                                      | Max                        |

NbS in modo da massimizzare localmente la regolazione microclimatica, aumentando la percentuale di superficie ombreggiata (% of shaded area) e relativa riduzione di temperatura

media radiante, ma minimizzando il valore finale di biomassa (m<sup>3</sup>), che può essere considerato in relazione alla gestione della manutenzione dell’NbS (Biocca *et al.*, 2022).

in terms of NbS maintenance management (Biocca *et al.*, 2022). Following the definition of goals and corresponding indicators, the optimisation was carried out using the Wallacei plug-in, which integrates an evolutionary solver algorithm for multi-objective optimisation of design solutions (Makki *et al.*, 2019). This approach enables the collection of solutions associated with Pareto fronts for the various possible configurations. Optimisation data can also be used to quantify other ecosystem services, such as the carbon storage capacity of the designed NbS, which can be calculated in terms of total volume and related biomass (Muralikrishna, 2014). Finally, this methodology is tested and applied to a case study within the municipality of Genoa, one of the sites involved in the research project. Specifically, the Cornigliano area in

Genoa was selected for its particular vulnerability in urban heat island intensity (Morabito *et al.*, 2015; Mosca *et al.*, 2021) and associated risks for residents. A representative urban canyon of the area was identified and modelled (without defining the materials), considering the main characteristics of the site (road layout, existing vegetation, building height, and distance between buildings). The site (44.415786, 8.870539), located on Via Cornigliano (Genoa, Italy), features a two-way traffic street, two pedestrian paths flanking the roadway with varying widths, and two parking areas adjacent to the buildings forming the canyon (Fig. 2).

**Results and discussion**

The results show the performance variation of the simulated NbS for the selected urban canyon case study. The collection of performance data for var-

ious NbS serves as a starting point for assessing the introduction of NbS into the built environment without relying on ad-hoc modelling and simulation tools, clearly demonstrating potential benefits for well-being across different conditions.

Specifically, the analysed canyon model is used to calculate multi-objective optimisation in relation to the goals and indicators defined in the Methodology section. Figure 3 illustrates the overall workflow of the computational approach employed. Optimisation was set up by using NbS dimensions as variable inputs, including trunk radius, tree height, and canopy radius (Scudo and Ochoa de la Torre, 2003), along with the NbS position within the canyon area where new vegetation can be introduced.

The optimisation cycle was structured by accounting for the collinearity of se-

lected indicators, deliberately reducing cycle complexity without impairing result accuracy. Four hundred solutions were modelled in ten iterations of forty each over more than sixteen hours of runtime, converging on the optimal solution by the ninth generation.

The five indicators reveal three distinct behaviours (Fig. 4). F01 (maximising shading on buildings) is the simplest and quickly converges toward its absolute minimum of 50%. Indicators F03 (maximising green cover) and F04 (minimising green volume) fluctuate significantly between two maximum extremes of 0-100% and 40-250 square metres, respectively. F02 (minimising mean radiant temperature) and F05 (maximising shaded ground surface) also vary, though less sharply, between their extremes, limited by a reduced background scale difference: 49-51°C and 15-25 square metres (Fig. 5).

Conseguentemente alla definizione degli obiettivi e relativi indicatori, l'ottimizzazione è stata impostata attraverso l'utilizzo del plugin Wallacei, che integra un algoritmo risolutore evolutivo per l'ottimizzazione multi-obiettivo di soluzioni progettuali (Makki *et al.*, 2019). Tale approccio permette di raccogliere soluzioni riferite ai fronti di Pareto delle diverse configurazioni possibili. I dati relativi all'ottimizzazione possono essere utilizzati per quantificare anche altri servizi ecosistemici, come la capacità di stoccaggio di carbonio della NbS progettata, che può essere calcolato in funzione del volume totale, e della relativa biomassa (Muralikrishna, 2014).

Infine, tale metodologia viene testata ed applicata ad un caso studio, identificato all'interno del territorio comunale di Genova, in quanto uno dei siti oggetto del progetto di ricerca. In particolare, l'area di Genova Cornigliano è stata selezionata per la sua particolare criticità in termini di intensità dell'isola di calore (Morabito *et al.*, 2015; Mosca *et al.*, 2021) e relativi rischi per i cittadini. Un *canyon* urbano rappresentativo dell'area è stato identificato e modellato (senza definizione di materiali), considerando le caratteristiche principali del sito (viabilità, vegetazione esistente, altezza e distanza edifici). Il sito (44.415786, 8.870539), in Via Cornigliano (Genova, Italia), è caratterizzato dalla presenza di una strada veicolare a doppio senso di marcia, due percorsi pedonali a lato delle carreggiate, di dimensioni differenti, e due aree di parcheggio limitrofe agli edifici che costituiscono il *canyon* (Fig. 2).

## Risultati e discussione

NbS simulate per il *canyon* urbano selezionato come caso stu-

I risultati mostrano la variazione delle prestazioni delle

The Cornigliano site is primarily characterised by the ease of shading the vertical surfaces of the canyon, ensuring at least a 50% reduction in direct solar radiation, regardless of NbS design variation. This feature is typical of narrow canyons (10-15m wide) but, in this case, the east-west orientation of the street axis leads to a significant increase in shading, though the distance between the buildings (which are 19m (W) and 27m (E) high), is 20m. Optimisation reduces MRT values, lowering ground irradiation temperature by half a degree. Regarding green features, the most effective solution populates the area adjacent to the road with more than 60% green cover, while keeping the total NbS volume under 170 square metres. Additionally, the positioned tree shades 17% of the entire street area (Fig. 5). Building on the workflow defined in

this study, which primarily addresses the urban heat island effect, additional climate adaptation KPIs can be easily integrated to evaluate NbS performance across different aspects, aiming to optimise their functionality for urban resilience. For instance, based on the NbS volume – minimised here to limit maintenance requirements – it is possible to quantify the relative biomass value according to the species considered, and to estimate its carbon storage capacity (Jin *et al.*, 2023).

## Conclusions and future developments

The presented study defines a methodology for optimising the design of Nature-based Solutions (NbS) with a focus on enhancing environmental quality and adapting to climate change. Specifically, the methodology emphasises the role of trees in miti-

dio. La raccolta dei dati relativi alle prestazioni di diverse NbS costituisce un punto di partenza per valutare, senza l'utilizzo di strumenti di modellazione e simulazione per analisi ad-hoc, l'introduzione delle NbS nell'ambiente costruito, esprimendo chiaramente il potenziale beneficio per il benessere in diverse condizioni.

In particolare: il modello del *canyon* oggetto di analisi è utilizzato per calcolare l'ottimizzazione multi-obiettivo in relazione agli obiettivi ed indicatori definiti nella sezione Metodologia. Fig. 3 mostra il workflow complessivo dell'approccio computazionale impostato.

L'ottimizzazione è stata impostata considerando come input variabili le dimensioni della NbS, quindi raggio del tronco, altezza dell'albero e raggio della chioma (Scudo and Ochoa de la Torre, 2003), e la sua posizione all'interno dell'area del canyon dove è possibile inserire nuova vegetazione.

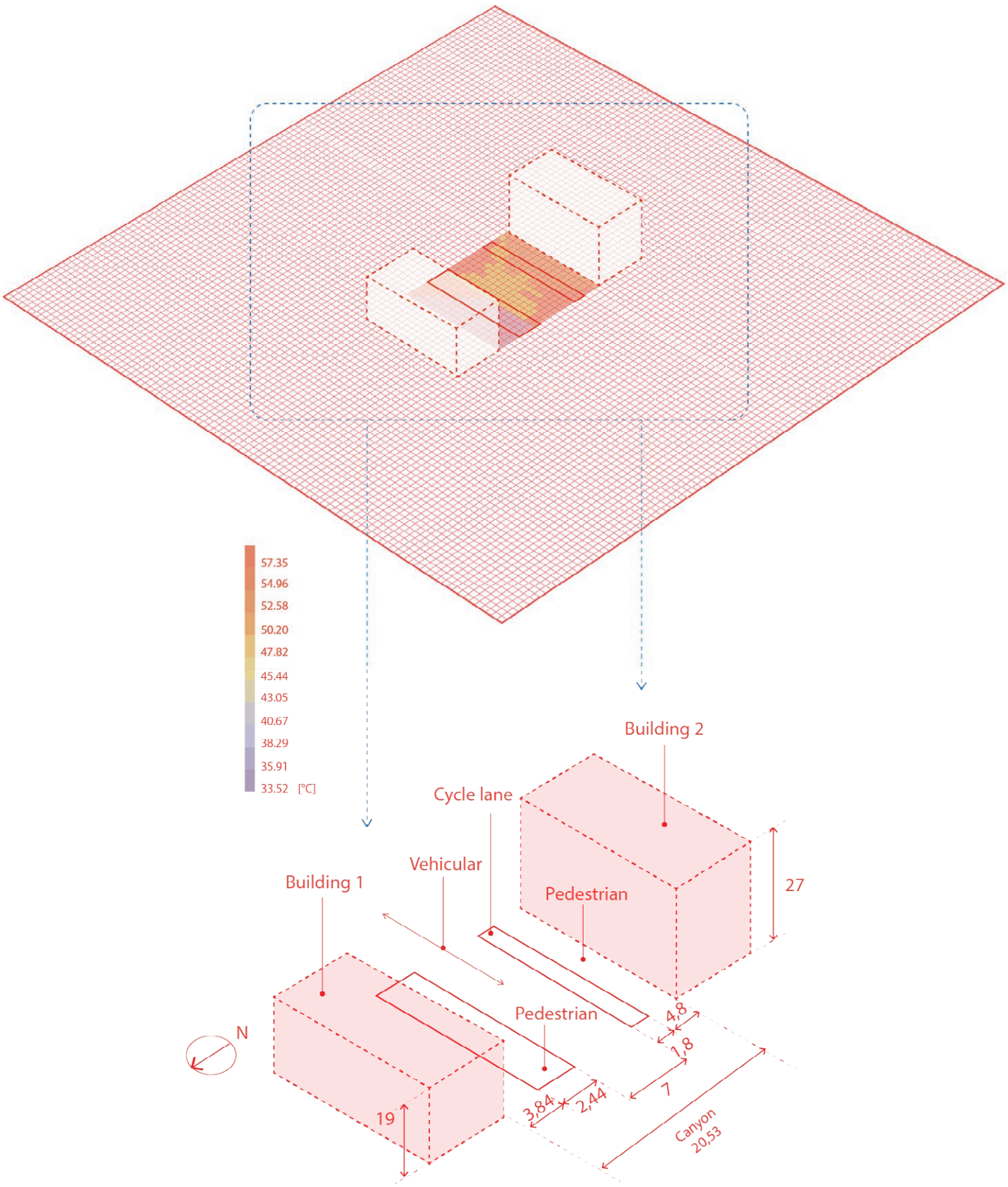
Il ciclo di ottimizzazione è stato impostato tenendo conto della collinearità degli indicatori selezionati, riducendo appositamente la complessità del ciclo senza sacrificare precisione dei risultati. Quattrocento soluzioni sono state modellate in dieci iterazioni da quaranta ciascuna per oltre sedici ore di *runtime*, convergendo alla migliore soluzione alla nona generazione.

I cinque indicatori dimostrano tre comportamenti distinti (Fig. 4). F01 (massimizzare l'ombreggiamento sugli edifici) è il più elementare e converge rapidamente verso una il proprio minimo assoluto di 50%. Gli indicatori F03 (massimizzare la copertura verde) e F04 (minimizzare il volume verde) oscillano drasticamente tra due estremi massimi di 0-100% e 40-250 mq rispettivamente. F02 (minimizzare la temperatura media radiante) e F05 (massimizzare la superficie ombreggiata a terra)

gating the urban heat island effect to improve well-being in urban environments. The developed methodology is based on dynamic modelling of an urban canyon, which allows for the calculation of site-specific performance for different design configurations. This dynamic modelling will be applied, within the PRIN-PNRR URBAN GENERATION project, to a wide range of urban canyons, to enable designers and public administrations to evaluate the performance of various NbS configurations without the need for ad hoc simulations. These configurations are modelled to represent the main design solutions, and are systematised in a catalogue (database). The study demonstrates, through a focus on a particularly critical area of the city of Genoa, that the methodology can be effectively applied to existing urban canyons.

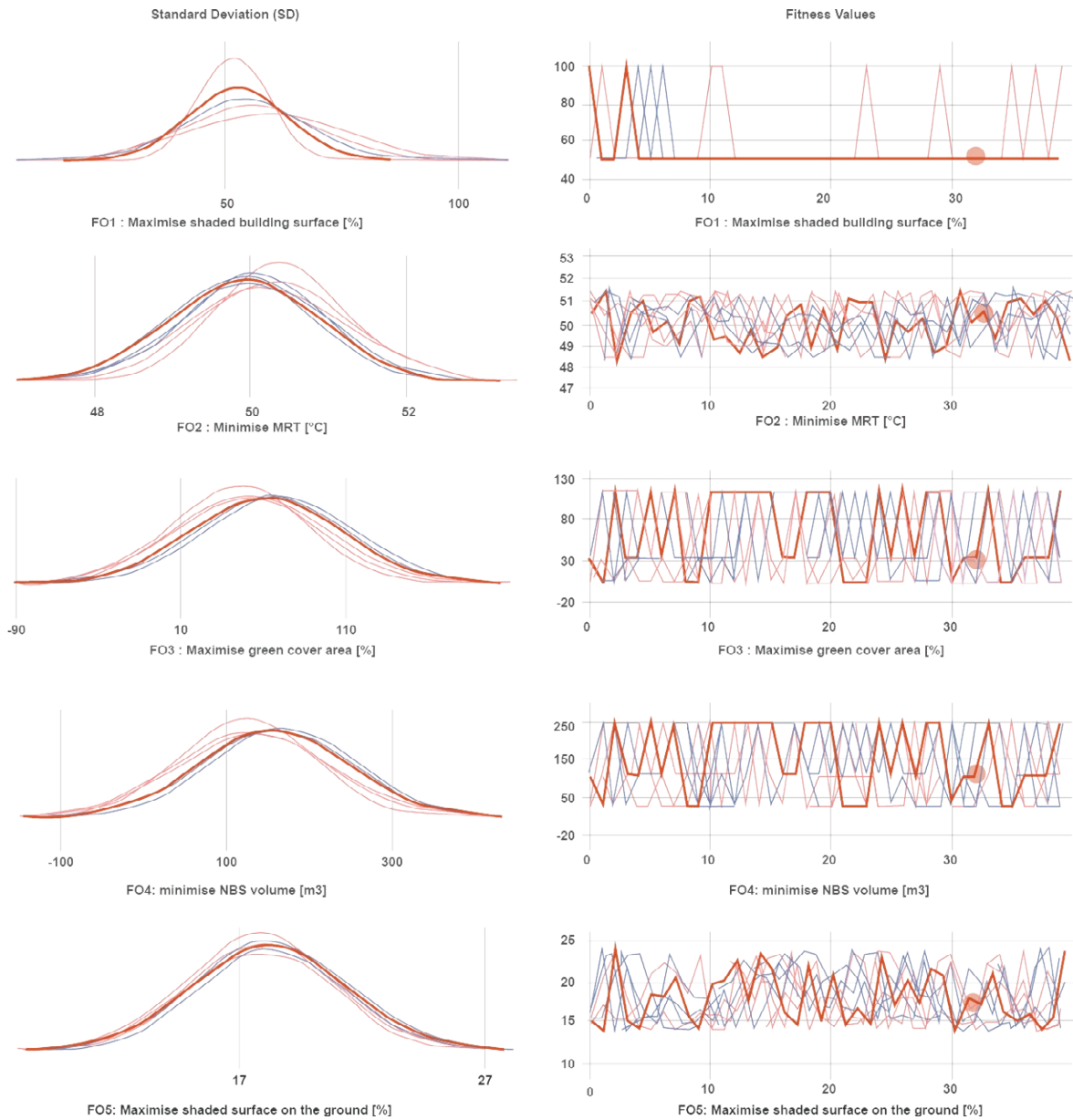
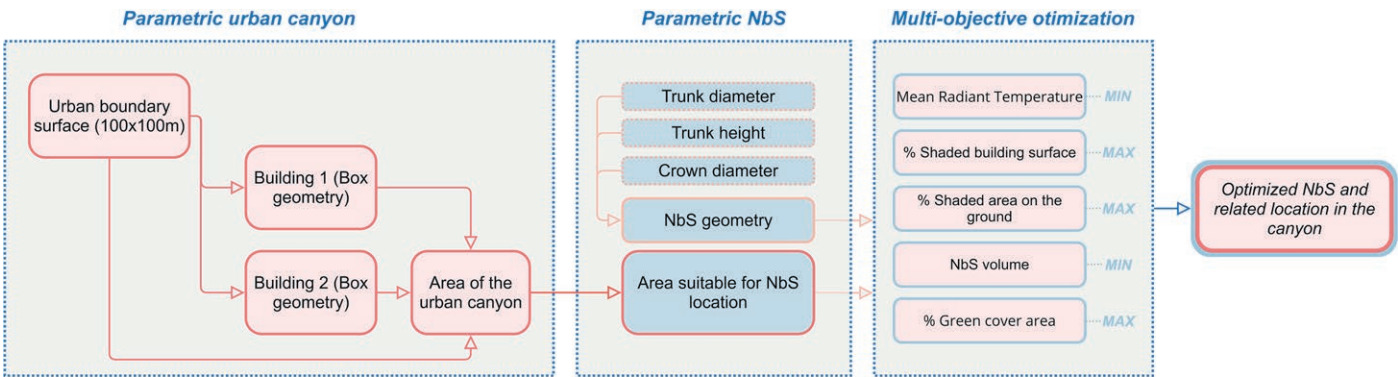
ATTRIBUTION, ACKNOWLEDGMENTS, COPYRIGHT  
Conceptualisation: FM, KP; Methodology: FM, KP, GO, MG; First draft: FM; Review and Writing: FM, KP, GO, MG; Graphics: MG, FM. PRIN PNRR 2022 programme – D53D23020090001.

02 |

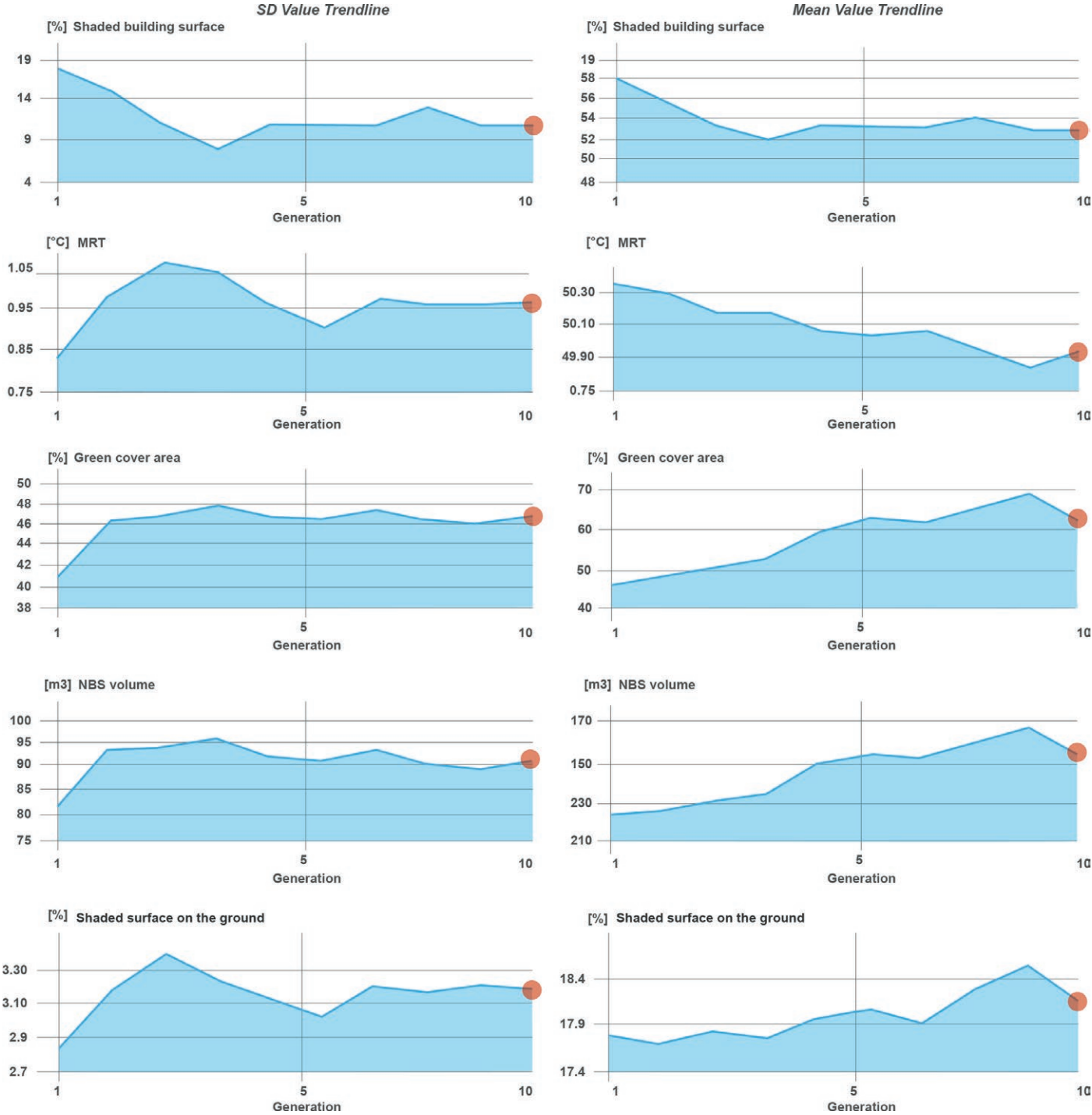


03 | Schema riassuntivo del workflow computazionale impostato per l'ottimizzazione del caso studio  
Summary of the computational workflow setup for the multi-objective optimisation applied to the case study

04 | Deviazione standard e fitness values per la soluzione ottimizzata (evidenziata dal cerchio rosso)  
Standard deviation and fitness values for the optimised solution (highlighted by the red dot)



05 |



variano anch'essi ma meno incisivamente tra gli estremi, limitati anche da una differenza di fondo scala ridotta: 49-51 (gradi celsius) e 15-25 mq (Fig. 5).

Il sito di Cornigliano si caratterizza prevalentemente per la facilità di ombreggiare le superfici verticali del *canyon*, assicurando una riduzione dell'irraggiamento diretto di almeno la metà indipendentemente dalla variazione del design della NbS. Questo è tipico dei *canyon* di larghezza ridotta (10-15m), ma nel caso in esame la direzione l'asse stradale est-ovest comporta un significativo aumento dell'ombreggiamento, anche se ha una distanza tra edifici, di altezza 19 (ovest) e 27 (est) m, di 20m. L'ottimizzazione riesce ad abbattere i valori di MRT riducendo di mezzo grado la temperatura causata dall'irradiazione a terra. Per quanto riguarda le caratteristiche del verde, la soluzione più performante riesce a popolare l'area di pertinenza a lato del manto stradale per più del 60% della superficie con meno di 170 mq di volume totale di NbS. L'albero così posizionato contribuisce inoltre a ombreggiare il 17% dell'intera strada (Fig. 5).

Partendo dal *workflow* definito per questa ricerca, che si concentra principalmente sulla gestione del fenomeno isola di calore, altri KPI di adattamento al cambiamento climatico possono essere facilmente integrati per valutare le prestazioni delle NbS in relazione a diversi aspetti, aspirando ad ottimizzarne le prestazioni in un'ottica di resilienza urbana. Per esempio, partendo dal volume della NbS, che in questo caso è stato minimizzato per limitare i requisiti di manutenzione, è possibile, in funzione della specie considerata, quantificare il relativo valore di biomassa, e stimarne la capacità di stoccaggio di carbonio (Jin *et al.*, 2023).

## Conclusioni e futuri sviluppi

Lo studio presentato definisce una metodologia che pone le basi per ottimizzare la progettazione delle NbS, con focus sul miglioramento delle qualità ambientale e sull'adattamento al cambiamento climatico. In particolare, la metodologia si concentra sul ruolo degli alberi nella mitigazione dell'effetto isola di calore per il miglioramento del benessere in ambiente urbano. La metodologia sviluppata si basa sulla modellazione dinamica di un *canyon* urbano, che permette di calcolare le prestazioni specifiche del sito per diverse configurazioni progettuali. Tale metodologia verrà applicata su un campione molto ampio di combinazioni *canyon* urbani-NbS, nello sviluppo del progetto PRIN-PNRR URBAN GENERATION, con l'obiettivo di stabilire relazioni in termini di condizioni geografico-climatiche, configurazioni urbane, e relative prestazioni delle NbS, per permettere a progettisti e pubbliche amministrazioni di valutare, senza la necessità di effettuare simulazioni ad-hoc, le prestazioni di diverse soluzioni progettuali. Tali configurazioni sono modellate per essere rappresentative

delle principali soluzioni progettuali e sistematizzate in un catalogo (*database*). Futuri sviluppi dovranno comprendere anche maggior dettaglio in relazione alle caratteristiche specifiche del sito (per esempio, i materiali utilizzati) e dell'evoluzione temporale delle NbS in termini di forma e prestazione. Lo studio dimostra, attraverso un focus su un'area particolarmente critica della città di Genova, che la metodologia può essere efficacemente applicata a *canyon* urbani esistenti.

## ATTRIBUZIONE, RICONOSCIMENTI, DIRITTI D'AUTORE

Concettualizzazione: FM, KP; Metodologia: FM, KP, GO, MG; Scrittura iniziale: FM; Revisione e scrittura: FM, GO, KP, MG; Grafiche: MG, FM. PRIN PNRR 2022 program – D53D23020090001.

## REFERENCES

- Augusto, B. et al. (2020) 'Short and medium- to long-term impacts of nature-based solutions on urban heat', *Sustainable Cities and Society*, 57, pp. 102-122. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102122> (Accessed on 13/09/2024).
- Biocca, M., Gallo, P. and Sperandio, G. (2022) 'Potential Availability of Wood Biomass from Urban Trees: Implications for the Sustainable Management of Maintenance Yards', *Sustainability*, 14(18), pp. 11226. Available at: <https://doi.org/10.3390/su141811226> (Accessed on 13/09/2024).
- Competence Centre of Foresight (2020), Available at: [https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight\\_en](https://knowledge4policy.ec.europa.eu/foresight_en) (Accessed: 04/09/2024).
- Boudali Errebai, F. et al. (2022) 'Impact of urban heat island on cooling energy demand for residential building in Montreal using meteorological simulations and weather station observations', *Energy and Buildings*, 273, pp. 112410. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112410> (Accessed on 01/09/2024).
- European Commission (2022). Nature-based solutions. Available at: [https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/environment/nature-based-solutions\\_en](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/environment/nature-based-solutions_en) (Accessed: 4 September 2024).
- Fernandes, R. et al. (2023) 'Local Climate Zones to Identify Surface Urban Heat Islands: A Systematic Review', *Remote Sensing*, 15(4), pp. 884. Available at: <https://doi.org/10.3390/rs15040884> (Accessed on 01/09/2024).
- IPCC (2021), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Available at: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf) (Accessed: 25 August 2024).
- Jin, S. et al. (2023) 'Comprehensive evaluation of carbon sequestration potential of landscape tree species and its influencing factors analysis: implications for urban green space management', *Carbon Balance and Management*, 18(1), pp. 17. Available at: <https://doi.org/10.1186/s13021-023-00238-w> (Accessed on 20/08/2024).
- Kim, S.W. and Brown, R.D. (2021) 'Urban heat island (UHI) variations within a city boundary: A systematic literature review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 148, pp. 111256. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111256> (Accessed on 01/09/2024).
- Kundzewicz, Z.W. and Matczak, P. (2012) 'Natural risks: mitigation and adaptation', *Ecohydrology & Hydrobiology*, 12(1), pp. 3-8. Available at: <https://doi.org/10.2478/v10104-012-0005-3> (Accessed on 20/09/2024).

- Knapp, S. and MacIvor, J.S. (2023) 'Nature-based solutions and biodiversity: synergies, trade-offs, and ways forward', in T. McPhearson, N. Kabisch, and N. Frantzeskaki (eds) *Nature-Based Solutions for Cities*. Edward Elgar Publishing, pp. 82-103. Available at: <https://doi.org/10.4337/9781800376762.00014> (Accessed on 01/09/2024).
- Makki, M., Showkatbaksh, M. and Song, Y. (2019), "Wallacei Primer 2.0". Available at: <https://www.wallacei.com/> (Accessed: 4 July 2024).
- Marando, F. et al. (2022) 'Urban heat island mitigation by green infrastructure in European Functional Urban Areas', *Sustainable Cities and Society*, 77, pp. 103564. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103564> (Accessed on 01/08/2024).
- Marrone, P. and Orsini, F. (2018) 'Resilience and open urban environments. Comparing adaptation and mitigation measures', *TECHNE – Journal of Technology for Architecture and Environment*, pp. 348-357 Pages. Available at: <https://doi.org/10.13128/TECHNE-22099> (Accessed on 01/08/2024).
- Morabito, M. et al. (2015) 'Urban-Hazard Risk Analysis: Mapping of Heat-Related Risks in the Elderly in Major Italian Cities', *PLOS ONE*. Edited by K. Dalal, 10(5), pp. e0127277. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127277> (Accessed on 01/09/2024).
- Mosca, F. et al. (2021) 'Nature-Based Solutions: Thermal Comfort Improvement and Psychological Wellbeing, a Case Study in Genoa, Italy', *Sustainability*, 13(21), pp. 11638. Available at: <https://doi.org/10.3390/su132111638> (Accessed on 01/08/2024).
- Muralikrishna, I. (2014), 'Biomass Calculations for Carbon Sequestration in Forest Ecosystem', *Journal of Energy and Chemical Engineering*, 2(1), pp. 30-38. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/259843856\\_Biomass\\_Calculations\\_for\\_Carbon\\_Sequestration\\_in\\_Forest\\_Ecosystem](https://www.researchgate.net/publication/259843856_Biomass_Calculations_for_Carbon_Sequestration_in_Forest_Ecosystem) (Accessed on 25/07/2024).
- 'Nature-based solutions can pave the way to carbon-neutral cities in 2030' (2023) *Nature Climate Change*, 13(8), pp. 774-775. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01750-0> (Accessed on 25/07/2024).
- Nunez, M. and Oke, T. R. (1977) 'The Energy Balance of an Urban Canyon', *J. Appl. Meteorol.* 16, 1 I-19. Oke, T. R.: 1974, *Review of Urban Climatology* 1968-1973, WMO Technical Note No. 134, WMO, Geneva, Switzerland. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/260784082> (Accessed on 23/07/2024).
- Pelletier, G., Landry, D. and Girouard, M. (2016), 'A Tree Classification System for New Brunswick' Version 2.0. Northern Hardwoods Research Institute. Edmundston, New Brunswick.
- Perini, K., Chokhachian, A. and Auer, T. (2018) 'Green Streets to Enhance Outdoor Comfort', in *Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability*. Elsevier, pp. 119-129. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812150-4.00011-2> (Accessed on 25/07/2024).
- Salvati, A. et al. (2022) 'Impact of reflective materials on urban canyon albedo, outdoor and indoor microclimates', *Building and Environment*, 207, pp. 108459. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108459>.
- Scudo, G. and Ochoa de la Torre, J.M. (2003), *Spazi verdi urbani, la vegetazione come strumento di progetto per il comfort ambientale negli spazi abitati*. Sistemi Editoriali, Napoli.