

TECNOLOGIE GEOCOMPUTAZIONALI DIGITALI PER IL METAPROGETTO DI INFRASTRUTTURE VERDI URBANE

DIGITAL GEOCOMPUTATIONAL TECHNOLOGIES FOR THE METAPROJECT OF URBAN GREEN INFRASTRUCTURES

Valeria D'Ambrosio, Ferdinando Di Martino, Marina Rigillo

ABSTRACT

Il contributo propone un modello di valutazione dell'efficienza ecologica delle aree verdi urbane a supporto della meta-progettazione di 'infrastrutture verdi'. Il modello è stato implementato con un framework GIS-based per l'estrazione di carte di efficienza ecologica. È stata compiuta una sperimentazione del modello sull'area di studio della città di Napoli correlando i livelli di efficienza ecologica con gli scenari di impatto all'ondata di calore a medio e lungo termine sulla popolazione soggetta a povertà energetica. I risultati della sperimentazione evidenziano il valore aggiunto del modello sia in termini di usabilità e replicabilità sia come strumento di supporto per i decisori, in particolare per la meta-progettazione di interventi di infrastrutture verdi in ambito urbano.

The paper presents a model to evaluate the ecological efficiency of urban green areas to support the meta-design of 'green infrastructures'. The model was implemented with a GIS-based framework to extract ecological efficiency maps. The model was experimented in the case study area of Naples, Italy and aims to relate the different ecological capacities with the medium- and long-term heat wave impact scenarios on the population subject to energy poverty. The results of the experiment validate the model in terms of usability and replicability highlighting its added value as a support tool for decision-makers, in particular for the meta-design of green infrastructures in urban areas.

KEYWORDS

infrastrutture verdi, servizi ecosistemici, efficienza ecologica, scenari di impatto, modello GIS-based

green infrastructures, ecosystem services, ecological efficiency, impact scenarios, GIS-based model

Valeria D'Ambrosio, Architect and PhD, is an Associate Professor of Architectural Technology at the Department of Architecture of the 'Federico II' University of Naples (Italy). She carries out research activities in the field of environmental design and technological retrofitting on a building and urban scale with an in-depth study on design strategies and solutions for the adaptation and mitigation of climate impacts. Mob. +39 347/45.12.837 | E-mail: valeria.dambrosio@unina.it

Ferdinando Di Martino, PhD, is an Information Technology Researcher at the Department of Architecture of the 'Federico II' University of Naples (Italy). He carries out research mainly in the field of computational intelligence methods and models integrated into GIS systems and applied to the analysis of massive spatial data. Mob. +39 333/45.29.362 | E-mail: ferdinando.dimartino@unina.it

Marina Rigillo, PhD, is an Associate Professor of Architectural Technology at the 'Federico II' University of Naples. Her field of study is environmental design particularly focused on climate adaptation of urban spaces, specifically urban and ecosystem services. Her studies are focused also on circular economy and reuse, recycling, and upcycling processes of C&D waste. Mob. +39 328/84.73.780 | E-mail: marina.rigillo@unina.it

A partire dagli studi prodotti al principio degli anni 2000, la comunità scientifica ha definitivamente concordato sulla definizione di 'infrastruttura verde' come sistema interconnesso di aree naturali e semi-naturali (Benedict and McMahon, 2002; Vargas-Hernández, Pallagst and Zdunek-Wielgotaska, 2018) che, inserite nel contesto urbano, consentono la produzione di servizi ecosistemici funzionali a ridurre gli impatti derivanti da eventi climatici estremi, nonché ad assicurare maggiori livelli di benessere per la popolazione e un presidio per la tutela della biodiversità in area urbana (MEA, 2005; European Commission, 2014). Tale definizione è l'esito di un dibattito più che decennale che ha visto un intenso confronto disciplinare riguardo la natura e le potenzialità di una particolare tipologia di spazio non immediatamente riconducibile alla cultura del progetto urbano, e non tipicamente inscritta tra gli elementi di studio delle scienze naturali. Studi relativi ai trend della letteratura scientifica sulle infrastrutture verdi (Parker and Zingoni de Baro, 2019; Monteiro, Ferreira and Antunes, 2020; Ying et alii, 2021) mettono in evidenza il presidio culturale del tema da parte della progettazione urbana e dell'ecologia, ma anche il crescente interesse di settori quali l'economia, la geografia urbana e l'agricoltura, a testimonianza delle importanti potenzialità riconosciute alle infrastrutture verdi quale fattore strategico per il conseguimento di obiettivi molteplici, tutti riconducibili alla complessiva valorizzazione dell'habitat urbano.

Il successo scientifico del concetto è inoltre avvalorato dalla quantità e tipologia di contributi prodotti tra il 1995 e il 2019 (Ying et alii, 2021). L'analisi dei prodotti censiti nel database WOS mostra un numero di articoli decisamente modesto tra il 1995 e il 2010, anno in cui inizia un progressivo aumento delle pubblicazioni con un andamento addirittura rilevante tra il 2015 e il 2019. È interessante notare che le aree geografiche maggiormente coinvolte nel dibattito appartengono ai Paesi più fortemente sviluppati (ad eccezione della Cina), e ricadenti nelle zone climatiche degli ambienti temperati (Parker and Zingoni de Baro, 2019).

Si riconosce, infine, un'importante corrispondenza tra la scala spaziale di riferimento e le tipologie di aree urbane riconducibili al sistema dell'infrastruttura verde (Ying et alii, 2021), nonché una più diretta relazione tra queste ultime e insieme di azioni per la riduzione del rischio climatico. La convergenza dei risultati di tre diversi studi sulla letteratura consente di affermare, con il conforto del dato analitico, che le infrastrutture verdi urbane sono ormai diventate un elemento essenziale nella ricerca di strategie per l'adattamento climatico, riconoscendo alle stesse un ruolo chiave nelle politiche pubbliche e negli interventi sull'ambiente urbano. Soprattutto l'analisi della letteratura prodotta mostra la crescente rilevanza delle infrastrutture verdi nella pianificazione urbana. Si individuano, infatti, importanti opportunità per l'implementazione di spazi pubblici multi-obiettivo, caratterizzati per essere luoghi funzionali a una maggiore sicurezza dal rischio climatico, ma anche in grado di fornire servizi essenziali all'ecosistema urbano.

In particolare, la Commissione Europea promuove le infrastrutture verdi come strategia win-win, in grado di capitalizzare lo stock di risorse na-

turali ancora disponibile nel sistema urbano per contrastare gli impatti di eventi meteorologici estremi e per determinare un vantaggio sociale ed economico nel contesto cittadino (European Commission, 2019, 2021). Benefici, questi, che fanno delle infrastrutture verdi un importante riferimento per la messa in pratica dei principi di 'resilience management' nella città contemporanea. Soprattutto la comunità scientifica identifica nella presenza di suoli evapotraspiranti e di superfici d'acqua la condizione necessaria per produrre servizi ecosistemici, distinguendo il valore dei benefici offerti in ragione della capacità ecologica delle aree potenzialmente disponibili nel sistema urbano. L'incidenza di tali benefici ha prodotto una visione molto più avanzata e complessa del valore del capitale naturale della città e dei territori antropizzati in genere (D'Ambrosio, Rigillo and Tersigni, 2020), tanto da spiegare l'utilizzo del termine 'infrastruttura' per descrivere il sistema dei suoli evapotraspiranti e delle superfici d'acqua a servizio degli interventi di adattamento climatico, sottolineandone il significato di vantaggio sociale collegato alle stesse (Rigillo, 2016).

Alla luce di tali premesse, lo studio che di seguito si riporta muove dall'assunto che la capacità di risposta delle infrastrutture verdi agli impatti legati al cambiamento climatico dipenda dalla quantità e qualità di servizi ecosistemici che le stesse sono in grado di erogare, valutando questi ultimi come i fattori essenziali per il progetto di adattamento climatico dei luoghi urbani. I servizi ecosistemici sono definiti in letteratura come un sistema di benefici multipli prodotti dagli ecosistemi a vantaggio del Pianeta e del genere umano (MEA, 2005). Gli stessi sono descritti rispetto a quattro categorie di prestazioni, essenziali per la sopravvivenza del pianeta e degli habitat urbani: supporto ai cicli biologici; approvvigionamento; regolazione; benessere e funzioni culturali.

Allo stesso modo, la necessità di posizionare secondo principi di massimo beneficio tali infrastrutture nella città rende ancora più cruciale la comprensione dell'effettiva capacità delle aree verdi urbane esistenti di far parte di un'infrastruttura verde. Tali osservazioni sono particolarmente rilevanti quando le infrastrutture verdi urbane mirano a ridurre gli impatti legati ai cambiamenti climatici (Jiang, Jiang and Shi, 2020). Infatti, la capacità delle aree verdi urbane di fornire effetti di raffrescamento dipende sia dal loro potenziale ecologico che dalla loro posizione nella rete verde, in quanto non tutte le aree verdi urbane esistenti sono ecologicamente efficienti e non tutte soddisfano i requisiti elementari per il corretto funzionamento di un'infrastruttura verde. Gli avanzamenti più interessanti, pertanto sono oggi rivolti alla definizione di metodi di conoscenza volti a ridurre il carattere di incertezza sotteso al progetto di tali infrastrutture, con particolare riguardo all'attivazione di processi ecologici il cui esito è legato a un insieme di prestazioni per l'ambiente urbano.

In questa prospettiva, la tecnologia dei sistemi informativi GIS-based consente di strutturare modelli gerarchici in grado di mappare le condizioni di efficienza rispetto allo stock delle aree urbane preesistenti, che potenzialmente potrebbero far parte di un'infrastruttura verde urbana. Tale mappatura supporta il processo proget-

tuale in quanto aiuta a predeterminare gli elementi portanti di un possibile network urbano di aree naturali e semi-naturali in base alla qualità dei servizi ecosistemici erogata, distinguendo le aree stesse in base alla maggiore o minore rispondenza ai criteri di efficienza stabiliti nel modello.

Il presente contributo ha l'obiettivo di presentare un modello di supporto alle decisioni in merito alla selezione di aree verdi urbane, scelte nell'ambito di quelle già esistenti, in grado di delineare scenari molteplici per il progetto di un'infrastruttura verde urbana in una logica di riduzione del rischio di insuccesso. La metodologia è stata progettata allo scopo di testare la ripetibilità del processo e di verificarne l'attendibilità del metodo e degli esiti; essa è originale per gli obiettivi (finalizzati a validare il processo progettuale in una logica predittiva) e perché introduce il concetto di efficienza ecologica come caratteristica specifica della maggiore o minore capacità delle aree verdi urbane di influire nei processi di riduzione della vulnerabilità climatica.

Metodologia | In questo studio è presentata una metodologia GIS-based per il riconoscimento delle aree potenzialmente idonee a formare una infrastruttura verde alla scala urbana, funzionale per valutare ex ante la compatibilità di interventi puntuali di adattamento climatico e di mitigazione del patrimonio costruito rispetto alle dimensioni e al funzionamento dell'infrastruttura verde nel suo insieme. Il modello è progettato in un framework GIS-based al fine di consentire la classificazione delle aree verdi urbane esistenti in termini di efficienza ecologica e produrre carte tematiche di efficienza ecologica in grado di supportare le decisioni di progetto rispetto alle azioni da intraprendere per la realizzazione di un'infrastruttura verde urbana.

Inoltre, l'uso della metodologia GIS-based ha permesso di integrare le informazioni relative alle caratteristiche ambientali del territorio con la specificità del patrimonio costruito, finalizzando la ricerca verso la produzione di un framework di conoscenza che, a partire da alcuni livelli informativi spaziali che connotano il tessuto urbano oggetto di studio, consenta di individuare quelle aree verdi urbane ecologicamente efficienti che potrebbero costituire la struttura portante di infrastrutture verdi funzionali per l'adattamento climatico. Tale metodologia è stata sviluppata nell'ambito di due ricerche competitive realizzate tra il 2017 e il 2021, rispettivamente il Progetto di Ricerca di Interesse Nazionale 'Adaptive design e innovazione tecnologica per la rigenerazione resiliente dei distretti urbani in regime di climate change'¹ e il Progetto PLANNER 'Piattaforma per LA gestione dei rischi Naturali in ambienti urbanizzati'.²

Nella Figura 1 è schematizzata la gerarchia degli indicatori nel modello sviluppato nel PRIN per la valutazione dell'efficienza ecologica delle aree verdi urbane. L'indicatore di 'efficienza ecologica' è determinato a partire da due indicatori intermedi denominati 'efficienza dimensionale' ed 'efficienza vegetazionale' (Cook, 2002; Losasso et alii, 2021).

La 'efficienza dimensionale' di un'area verde è determinata da due indicatori intermedi, chiamati Size e Compactness; l'indicatore Size valuta l'estensione dell'area verde mentre l'indicato-

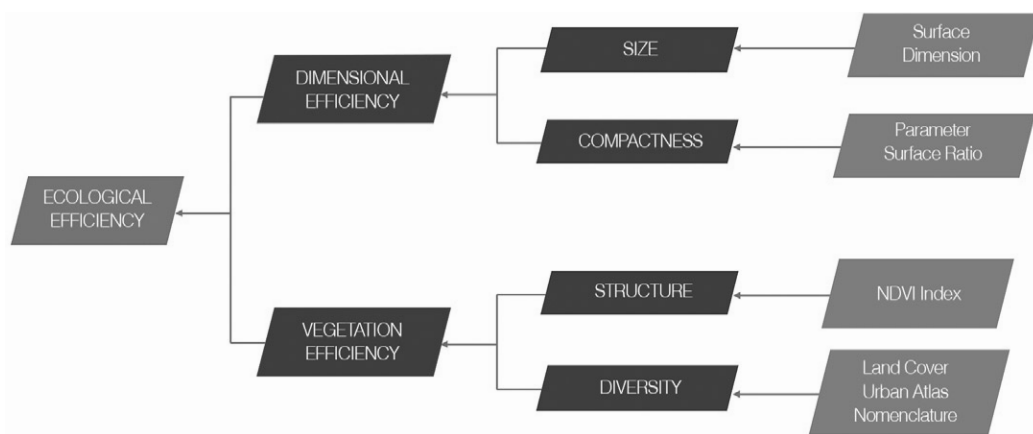


Fig. 1 | Hierarchical model applied to assess the ecological efficiency of urban green areas (credit: the Authors, 2022).

re Compactness ne valuta la sua compattezza, che è tanto maggiore quanto più la forma dell'area verde è simile a un'area circolare e tanto minore quanto più essa è allungata. Nelle Tabelle 1 e 2 sono evidenziate le etichette delle classi in cui sono stati partizionati, rispettivamente, gli indicatori Size e Compactness. L'indicatore Size è composto da tre classi: 'molto estesa', 'sufficientemente estesa' e 'non estesa': l'area verde è classificata in una delle tre classi in base alla propria estensione. L'indicatore Compactness è composto da due classi: 'compatta' e 'non compatta' in base al valore del parametro Rapporto di compattezza (R_c), che misura la differenza in valore assoluto tra il raggio di un'area circolare della stessa estensione dell'area verde e la lunghezza costituita da due volte il rapporto tra l'area e il perimetro dell'area verde. L'indicatore 'efficienza dimensionale' è composto da 6 classi. L'area verde compatta è classificata 'core area' se molto estesa, 'stepping zone' se sufficientemente estesa e 'hub' se non estesa; la stessa classificazione è attribuita alle aree verdi non compatte (Tab. 3).

L'indicatore 'efficienza vegetazionale' è determinato prendendo in considerazione la capacità e la diversità di vegetazione. La capacità vegetativa è valutata mediante l'indicatore 'structure' che prende in considerazione l'indice di vegetazione viva NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). L'indice NDVI è determinato mediante rilievo satellitare multispettrale misurando l'assorbimento dei pigmenti di clorofilla nella banda del rosso e la riflettanza del composto vegetale nella banda dell'infrarosso vicino. Valori NDVI molto bassi sono indicatori di aree con vegetazione viva scarsa o assente; al contrario, valori elevati sono presenti in aree forestali/boschive ricche di vegetazione. Il valore dell'indice NDVI di un'area verde è ottenuto aggregando con un processo di statistica zonale i valori NDVI dei pixel del raster satellitare NDVI che ricadono nel poligono, composto da 5 classi (Tab. 4).

La diversità di vegetazione è valutata mediante l'indicatore intermedio 'diversity' che misura la diversità di copertura vegetale dell'area. L'indicatore 'diversity' è composto da 5 classi (Tab. 5), che aggregano differenti tipi di uso del suolo e sono riferite al General Land Use: 'bosco', 'verde urbano', 'area coltiva', 'area incolta' e 'arbusti'. Un bosco costituisce un'area verde con elevata biodiversità, al contrario di un'area prevalentemente incolta o composta da arbusti. L'in-

dicatore 'efficienza vegetazionale' è composto da 2 classi (Tab. 6): 'vegetazionalmente efficiente' e 'vegetazionalmente non efficiente'. Un'area verde è classificata come 'vegetazionalmente efficiente' se appartiene a una classe 'structure' almeno media ed è prevalentemente un'area boschiva, verde urbano o area coltiva.

L'indicatore finale 'efficienza ecologica' è composto anch'esso da 2 classi (Tab. 7): 'ecologicamente efficiente' ed 'ecologicamente non efficiente'. Un'area verde è classificata come 'ecologicamente efficiente' se essa è 'compatta' oppure è una 'non compatta' e se è 'vegetazionalmente efficiente'. Le 'core aree non compatte' e 'vegetazionalmente efficienti' sono classificate come 'ecologicamente efficienti' in quanto l'elevata estensione dell'area è considerata una caratteristica che sopperisce in termini di efficienza ecologica alla sua debole compattezza. Il modello è stato implementato in una piattaforma GIS al fine di produrre (a partire da una base di conoscenza costituita dai dati tematici relativi alle aree verdi del contesto urbano di studio, ai dati di uso del suolo e al raster dataset NDVI) la carta tematica di 'efficienza ecologica' delle aree verdi urbane.

Nel seguito sono descritti i risultati della sperimentazione del modello compiuta sull'area di studio costituita dal tessuto urbano del Comune di Napoli e i risultati del confronto della carta di efficienza ecologica con quella che fa riferimento agli scenari di impatto di ondate di calore, prodotta durante le attività di ricerca del progetto PLANNER.

Sperimentazione e risultati | La Città di Napoli si estende su una superficie di circa 119 Km² con una densità di verde urbano pari a circa il 9,6% della superficie territoriale. Il capitale verde presente in città risulta diversificato per caratteristiche, estensione e morfologia avendo subito delle modificazioni a valle dei processi di espansione edilizia avviati nel dopoguerra. Il Parco Metropolitan delle Colline di Napoli, istituito nel 2004 dalla Regione Campania, rappresenta il principale sistema naturale della città collocato nell'area nord-occidentale con una estensione di circa 2.215 ettari. Il Parco attraversa i quartieri di Pianura, Soccavo, Chiaiano, Miano, San Carlo all'Arena, Stella, Vomero e Arenella. All'interno del Parco delle Colline, tra i quartieri di Soccavo, Pianura e Vomero, rientra la Collina dei Camal-

doli e il relativo Parco Urbano. Il Bosco di Capodimonte e il costone di Posillipo completano il quadro del capitale naturale di particolare rilevanza ed estensione della città. Il sistema del verde sul territorio cittadino vede, infine, la presenza di aree verdi che in relazione alle dimensioni e alle funzioni prevalenti vanno dal verde pubblico (aree di arredo stradale quali aiuole, giardini e giardinetti) ai parchi urbani (differenziati in parchi urbani di quartiere e parchi cittadini, sia naturali/ornamentali che monumentali).

L'applicazione del modello alla Città di Napoli ha condotto alla individuazione dell'efficienza ecologica delle aree verdi urbane. In Figura 2 è mostrata la carta di 'efficienza ecologica' delle aree verdi presenti nel Comune in cui sono visibili anche i confini dei singoli quartieri. La carta è stata ottenuta implementando su piattaforma GIS-based il modello gerarchico mostrato in Figura 1 utilizzando il tool GIS ESRI ArcGIS Desktop 10.8. La carta tematica mostra un'elevata presenza di aree verdi ecologicamente efficienti soprattutto nelle aree occidentale e nord-occidentale del Comune. Rispetto all'estensione dei quartieri i valori di aree verdi 'ecologicamente efficienti', espressi in percentuale, raggiungono circa il 65% a Bagnoli e Pianura. I valori più significativi si rilevano nell'area nord della città nei quartieri di Chiaiano, Piscinola e San Carlo all'Arena che raggiungono rispettivamente il 70%, il 55% e il 53% di aree 'ecologicamente efficienti', mentre nell'area orientale della città si riducono drasticamente con percentuali pari al 20% a Barra e al 15% a San Giovanni a Teduccio fino risultare del tutto assenti nei quartieri del centro storico.

Nella fase di sperimentazione sono state utilizzate le carte di vulnerabilità e impatti all'ondata di calore realizzate in ambiente GIS-based nel progetto PLANNER, sviluppando una metodologia proposta da Aprea, D'Ambrosio e Di Martino (2019) per analizzare quali fossero le aree verdi urbane 'ecologicamente efficienti' prossime ad aree urbane caratterizzate da elevati livelli di impatto generati da scenari di ondata di calore. Da tale confronto è possibile individuare la struttura portante di una rete di aree verdi a scala urbana da tutelare, implementare e connettere attraverso interventi di progettazione ambientale finalizzati a massimizzare i benefici ecosistemici derivanti dal loro posizionamento all'interno del sistema urbano.

In Figura 3 è mostrata la carta tematica dello scenario di impatto a lungo termine (previsioni dal 2071 al 2100) sulla popolazione residente fuel poverty ottenuta nel progetto PLANNER (di cui a breve si pubblicheranno gli esiti). La popolazione residente fuel poverty è rappresentata dalla popolazione soggetta a povertà energetica ed è, quindi, maggiormente esposta agli effetti negativi sulla salute prodotti da scenari di ondate di calore. Nello scenario di impatto si è fatto riferimento al modello di emissione RCP 4.5 (Representative Concentration Pathway) contenuto nel rapporto AR5 dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2014) in base al quale, per la Città di Napoli sono stati stimati eventi di ondata di calore della durata di 60 giorni consecutivi. La carta di scenario di impatto evidenzia che la maggior parte delle sezioni di censimento in cui è partizionato il Comune (84% delle sezioni) è classificata con 'classe di impatto alta' (2%) o 'medio-alta'

(82%). Solo il 9% delle sezioni è classificato con 'classe di impatto media' mentre il 7% 'medio-bassa' e nessuna sezione è classificata con 'classe di impatto bassa'. Il centro storico cittadino, in particolare, risulta tra le aree maggiormente a rischio, con un'elevata presenza di zone con 'impatto alto' o 'medio alto'.

L'analisi delle due carte tematiche evidenzia, quindi, una forte criticità soprattutto nel centro cittadino, caratterizzato da un ridotto numero di aree verdi 'ecologicamente efficienti', ad alta densità di popolazione, e in cui in proiezione futura, cresceranno notevolmente i rischi provocati da scenari di ondate di calore soprattutto per la popolazione residente che vive in regime di povertà energetica. Nella Figura 4 l'istogramma mostra per quartiere, in valori percentuali, l'estensione delle aree a elevato impatto (classi di impatto alto e medio alto) e l'estensione delle aree ecologicamente efficienti. I quartieri più critici, in cui è alta l'estensione delle aree a elevato impatto e bassa l'estensione delle aree verdi ecologicamente efficienti, sono i quartieri del centro storico Pendino, San Lorenzo, San Giuseppe, Porto, Mercato e San Ferdinando. Una condizione particolarmente critica si evidenzia anche nell'area orientale della città nei quartieri di Barra, San Giovanni a Teduccio e Zona industriale. Emerge invece una condizione decisamente più contenuta degli impatti nei quartieri dove è più marcata la presenza di aree verdi 'ecologicamente efficienti' come Bagnoli, Pianura, Chiaiano, San Carlo all'Arena e Posillipo.

Conclusioni | Alla luce dei risultati sperimentali prodotti dall'applicazione del modello è stata effettuata una prima classificazione delle aree verdi urbane esistenti in base al loro potenziale ecologico. La sovrapposizione di queste mappe mostra la fattibilità di un'infrastruttura verde urbana grazie alla presenza di diverse aree di grande estensione ed efficienti dal punto di vista ecologico. Tuttavia, la rete del sistema verde deve essere potenziata attraverso la realizzazione di aree di connessione, che risultano invece limitate nel numero e lontane tra di loro, così da risultare non adeguatamente distribuite al fine del corretto e sinergico funzionamento della rete. Questi primi risultati, coerentemente con quanto desunto dalla letteratura di settore (Foltête, Girardet and Clauzel, 2014), consentono di formulare alcune considerazioni di merito per il progetto di un'infrastruttura verde urbana.

Il progetto deve prevedere misure specifiche per la tutela delle aree verdi 'ecologicamente efficienti', soprattutto quando classificate come 'core area', che rappresentano il principale motore per la produzione di servizi ecosistemici della rete. La ratio è soprattutto quella di tutelare un bene collettivo non riproducibile nel breve-medio periodo che si configura nell'inventario proposto dalla ricerca come insostituibile capitale naturale della città. A tal fine l'approccio progettuale deve mirare a identificare usi del suolo funzionali a valorizzare le aree boschive urbane, anche indicando le stesse come luoghi di rifugio in caso di ondate di caldo estremo. Usi compatibili sono quindi finalizzati a promuovere comportamenti di vita più sani e sostenibili, come quelli legati al tempo libero, all'educazione ambientale, ad alcune tipologie di sport e ad attività di tipo

psico-terapeutico. Per queste aree vanno inoltre definite specifiche azioni di manutenzione ispirate alle pratiche di selvicoltura urbana (Semenzato and Agrimi, 2009; Jim, 2017).

Per quanto concerne le aree 'mediamente efficienti' il progetto delle infrastrutture verdi deve intervenire sulle caratteristiche fisiche ed ecologiche al fine di migliorare le performance di queste aree rispetto ai valori soglia del modello proposto. In termini operativi occorre concepire un mix di interventi di rinaturazione finalizzati a in-

crementare la biodiversità dell'ambiente urbano, nonché nuove funzioni d'uso soprattutto alla scala di quartiere, anche includendo esperimenti di urban gardening e urban agriculture.

Il progetto dell'infrastruttura verde urbana deve, infine, contemplare anche interventi ex novo, rivolti a rafforzare la connettività della rete. In questo caso le azioni devono interessare le aree classificate come 'non estese' ma localizzate in posizione strategica rispetto alla funzione di connessione tipica della rete. Tale tipologia di aree

Class	Rule
Very wide	$A > 3$ Hectares
Sufficiently wide	$1 \text{ Hectare} < A \leq 3$ Hectare
Not wide	$A \leq 1$ Hectare

Tab. 1 | Intermediate Indicator Size: thematic class partitioning (credit: the Authors, 2022).

Tab. 2 | Thematic class partitioning (credit: the Authors, 2022).

Class	Rule
Compact	$R_c < 0.6$
Non-compact	$R_c \geq 0.6$

Class	Rule
Compact Core area	Size = Very wide, Compactness = Compact
Compact Stepping zone	Size = Sufficiently wide, Compactness = Compact
Compact Hub	Size = Not wide, Compactness = Compact
Non-compact Core area	Size = Very wide, Compactness = Non-compact
Non-compact Stepping zone	Size = Sufficiently wide, Compactness = Non-compact
Non-compact Hub	Size = Not wide, Compactness = Non-compact

Tab. 3 | Dimensional Efficiency Indicator: thematic class partitioning (credit: the Authors, 2022).

Class	Rule
Low	$0.00 < NDVI \leq 0.10$
Mean-Low	$0.10 < NDVI \leq 0.20$
Mean	$0.20 < NDVI \leq 0.30$
Mean-High	$0.30 < NDVI \leq 0.50$
High	$0.50 < NDVI \leq 1.00$

Class	Rule
Wood	Wooded area
Urban Green	Urban Green
Cultivate area	Cultivate area
Uncultivated area	Uncultivated area
Shrubs	Shrubs

Tab. 4 | Intermediate Indicator Structure: thematic class partitioning (credit: the Authors, 2022).

Tab. 5 | Thematic class partitioning (credit: the Authors, 2022).

Class	Rule
Vegetatively Effective	Structure = Mean OR Mean-High OR High and Diversity = Wooded Area OR Urban green OR Cultivate Area
Vegetatively Ineffective	Otherwise

Class	Rule
Ecologically Effective	Dimensional efficiency = Compact Core area OR Compact Stepping zone OR Compact Hub OR not compact Core area AND Vegetation efficiency = Vegetatively efficient
Ecologically Ineffective	Otherwise

Tab. 6 | Vegetation Efficiency Indicator: thematic class partitioning (credit: the Authors, 2022).

Tab. 7 | Ecological Efficiency Indicator: thematic class partitioning (credit: the Authors, 2022).

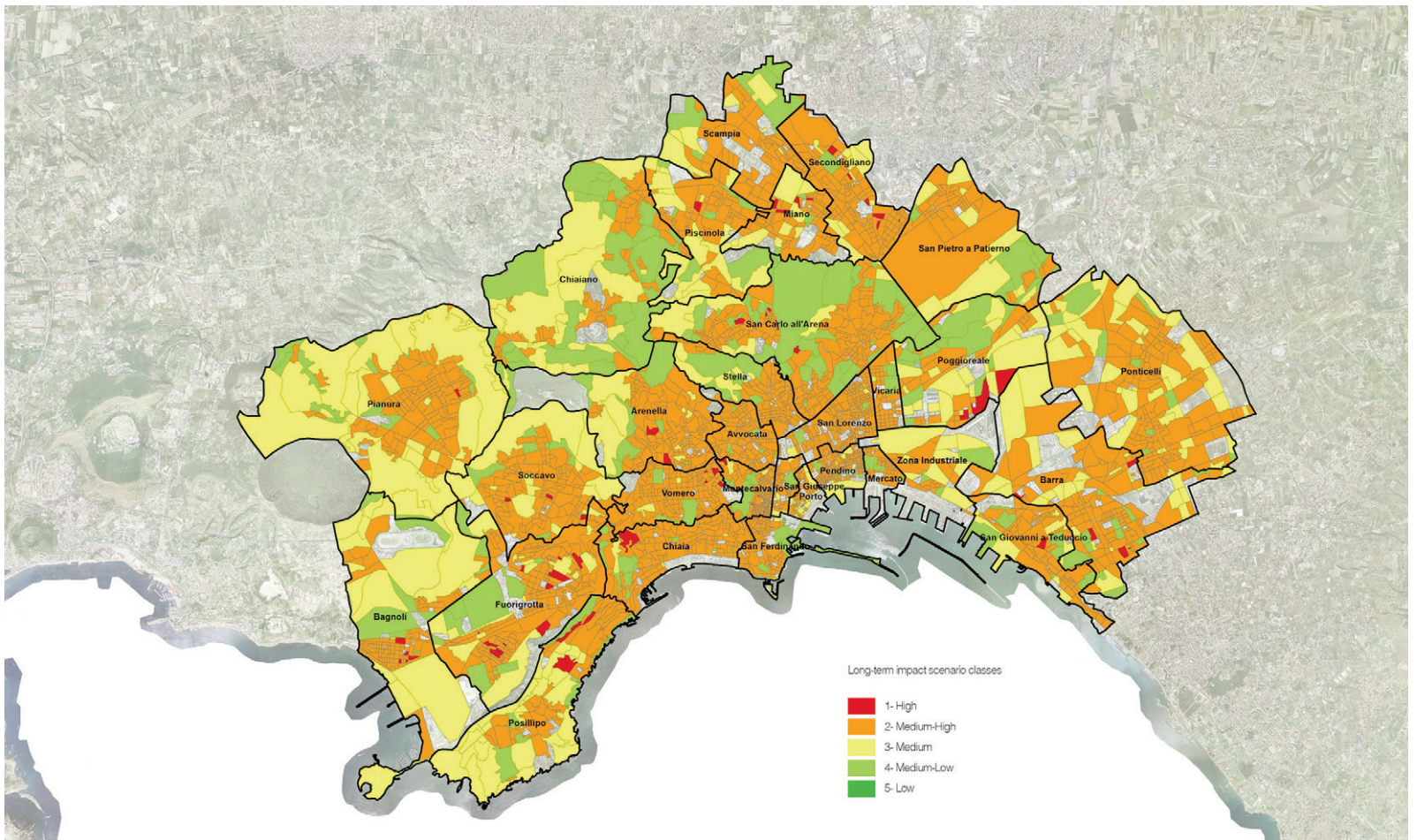
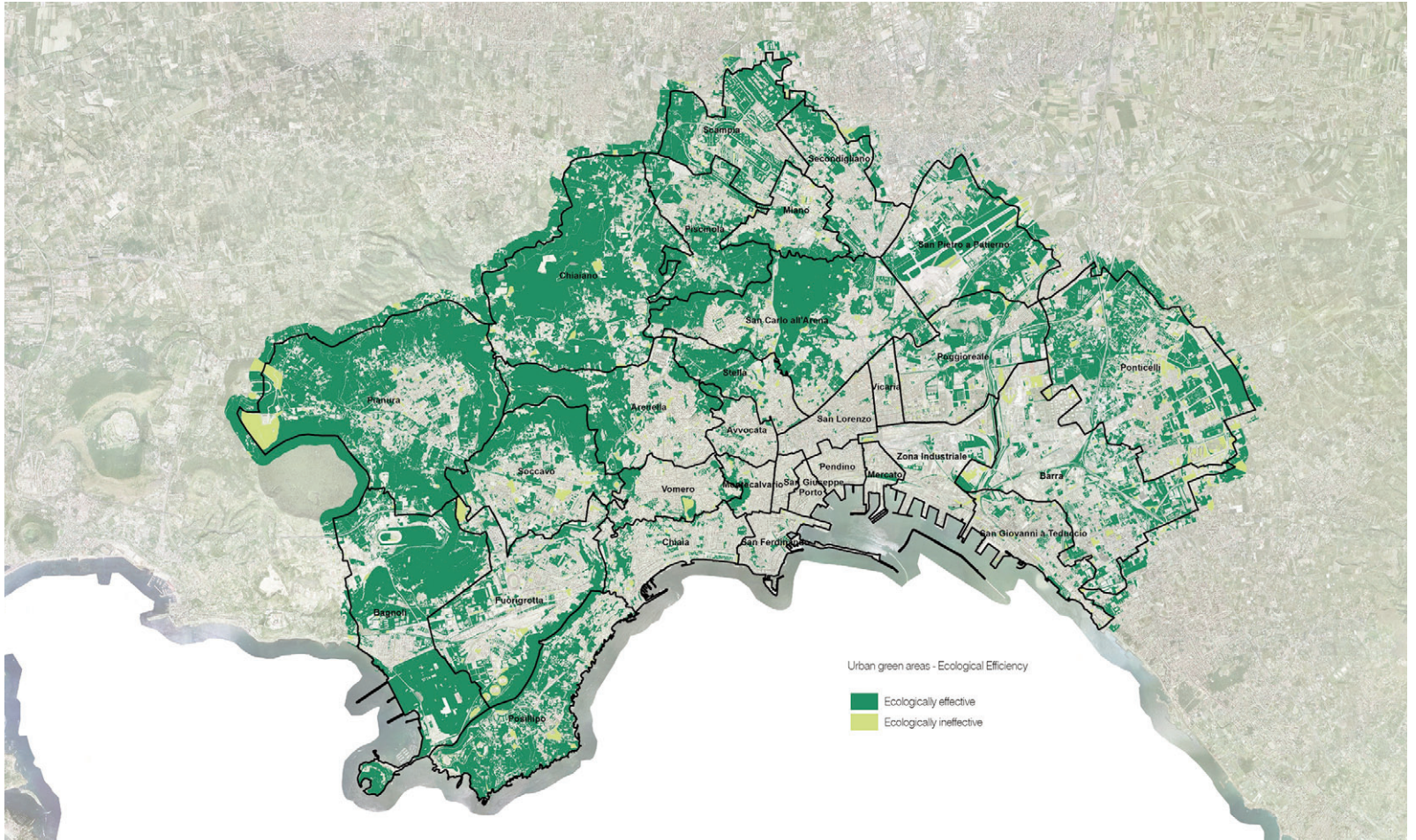


Fig. 2 | Thematic map of ecological efficiency of green areas in the Municipality of Naples (credit: the Authors, 2022).

Fig. 3 | Thematic map of the long-term impact scenario caused by heatwaves on the fuel poverty population in the Municipality of Naples (credit: the Authors, 2022).

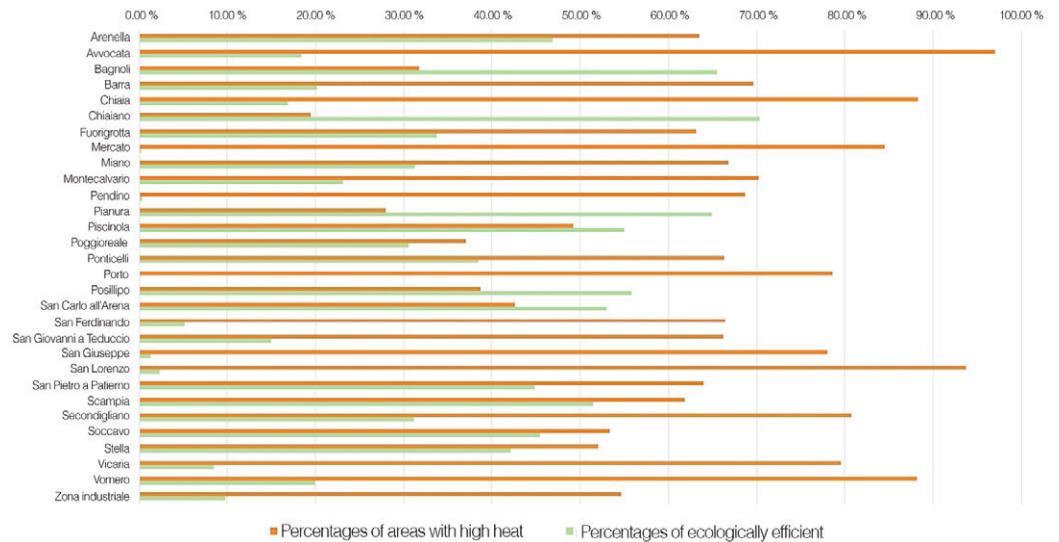


Fig. 4 | Histogram showing the percentages of areas with high heatwave impact and the percentages of ecologically efficient green areas (credit: the Authors, 2022).

rappresenta inoltre ambiti spaziali intermedi tra l'ambiente naturale e quello costruito (facciate verdi, tetti verdi, corridoi urbani, ecc.), molto indicati per interventi di nature-based solutions (Fig. 8).

È possibile quindi concludere che l'applicazione del modello GIS consente di riconoscere le aree urbane esistenti che potrebbero potenzialmente costituire una infrastruttura verde urbana. Nonostante siano stati messi in gioco solo quattro indicatori, la sperimentazione sul caso studio della Città di Napoli dimostra che il modello è in grado di rappresentare le differenze tra le aree verdi esistenti e di caratterizzarne le specificità. In questa prospettiva, il modello è idoneo a supportare le decisioni per il progetto di una infrastruttura verde urbana. Il modello, inoltre, consente di selezionare le misure e gli interventi più appropriati in base alle differenti classificazioni delle aree verdi esistenti e di definire le azioni prioritarie da mettere in campo per contribuire alla riduzione degli impatti climatici sulla popolazione.

Un limite del modello GIS-based proposto è costituito invece dalla necessità di verificare le sue prestazioni in termini di accuratezza della classificazione, infatti non sono disponibili oggi in letteratura dataset di aree verdi urbane riconosciute come ecologicamente efficienti (o non efficienti), da poter utilizzare come training set per il modello. In futuro l'attività di ricerca si propone di migliorare le prestazioni del modello costruendo un dataset delle aree verdi urbane le cui caratteristiche saranno acquisite e misurate in situ, aggiungendo nuovi indicatori sia fisici sia ambientali e tarando opportunamente i pesi in modo da ottimizzare l'accuratezza della classificazione misurata sul training set delle aree verdi urbane.

Starting from the studies carried out in the early 2000s, the scientific community has definitively agreed on defining 'green infrastructure' as an interconnected system of natural and semi-natural areas (Benedict and McMahon, 2002; Vargas-Hernández, Pallagst and Zdunek-Wielgońska, 2018). Inserted in the urban environment, these areas provide a range of ecosystem services intended for reducing the impacts of extreme climate events and ensuring high levels of well-being for the population and defence for the

protection of biodiversity in the urban area (MEA, 2005; European Commission, 2014). This definition is the result of a more than a decade long discussion within the scientific community on nature and the potential of a specific urban space not immediately attributable to the culture of design, and not typically considered one of the objects of study of the natural sciences. Some studies concerning the trends of scientific literature on green infrastructure (Parker and Zingoni de Baro, 2019; Monteiro, Ferreira and Antunes, 2020; Ying et alii, 2021) highlight the cultural interest in the subject of urban design and ecology but also economy, urban geography and agriculture. These trends demonstrate the important potential of green infrastructures as a strategic factor in achieving multiple objectives, all attributable to the overall enhancement of the urban habitat.

The scientific fortune of the concept emerges from the quantity and variety of papers written from 1995 to 2019 (Ying et alii, 2021). The analysis of the products censused in the WOS database shows a low number from 1995 to 2010. That year marked the progressive increase of papers published with a greater number between 2015 and 2019. It is interesting to note that the geographic areas most involved in the debate belong to the most developed countries (except China) and fall into temperate climatic zones (Parker and Zingoni de Baro, 2019).

Lastly, it is recognized a high correspondence between the reference spatial scale and the types of urban areas attributable to the green infrastructure system (Ying et alii, 2021), as well as a more direct link between the latter and a set of actions to reduce climate risk. The convergence of results of three different studies in the literature allows us to say that – with the support of analytics data – urban green infrastructures are an essential element to research strategies for climate adaptation, and have a key role in public policies and operations on the urban environment. In particular, the literature analysis shows the increasing relevance of green infrastructures in urban planning. The latter indeed provide opportunities to implement multi-objective public spaces, characterized by their function of safety places from climate risk, but also their ability to provide essential services to the urban habitat.

In particular, the European Commission pro-

motes green infrastructures as a win-win strategy, capable of capitalizing on the stock of natural resources still available in the urban system to counteract the impacts of extreme weather events and to determine a social and economic advantage in the city context (European Commission, 2019, 2021). These benefits make green infrastructures an important reference to the implementation of 'resilience management' principles in the contemporary city. Specifically, the scientific community identifies the presence of evapotranspiration soils and water bodies as a necessary condition to produce ecosystem services, by distinguishing the value of the benefits offered according to the ecological capacity of the areas potentially available in the urban system. The impact of these benefits on the city has generated a much more advanced and complex vision of the value of the city's natural capital and the anthropized territories in general (D'Ambrosio, Rigillo and Tersigni, 2020). This explains the use of the word 'infrastructure' to describe the role of soil evapotranspiration and water bodies for climate adaptation, highlighting the sense of social benefit associated with it (Rigillo, 2016).

In light of these considerations, the study works on the assumption that the responsiveness of green infrastructures to climate change impacts depends on the quantity and quality of ecosystem services that they can provide. The literature describes ecosystem services as a system of multiple benefits that ecosystems produce for the benefit of the Planet and the humankind (MEA, 2005), and it classifies them in four categories of services essential to the survival of the planet and urban habitats: support for biological cycles; supplying; regulation; well-being and cultural functions.

Similarly, the need to place these infrastructures in the city according to maximum benefit principles makes even more crucial the need to understand the capacity of existing urban green areas to be part of a green infrastructure. Such observations are particularly relevant when urban green infrastructures aim to reduce climate change impacts (Jiang, Jiang and Shi, 2020). The capacity of urban green areas in providing cooling effects depends both on their ecological potential and their location in the green network, since not every urban green area is ecological-

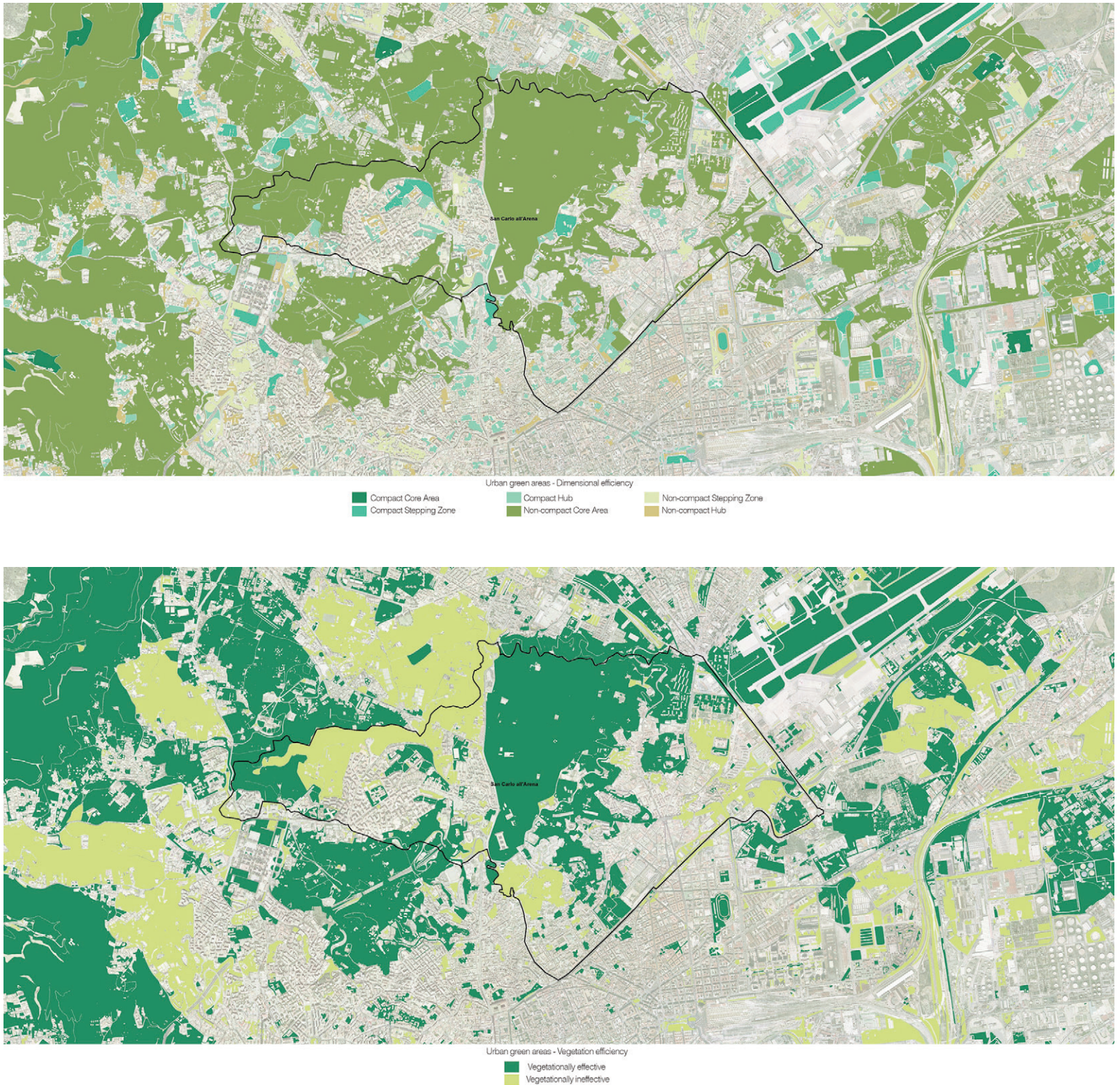


Fig. 5-7 | Thematic maps of Dimensional, Vegetation and Ecological efficiency in the San Carlo all'Arena district (credits: the Authors, 2022).

ly effective and not all of them meet the basic requirements for the proper functioning of a green infrastructure. The most interesting progress in research is currently aimed at defining knowledge methods focused on reducing the uncertainty of the project, especially concerning the implementation of ecological processes, whose outcome is to be attributed to a set of services for the urban environment.

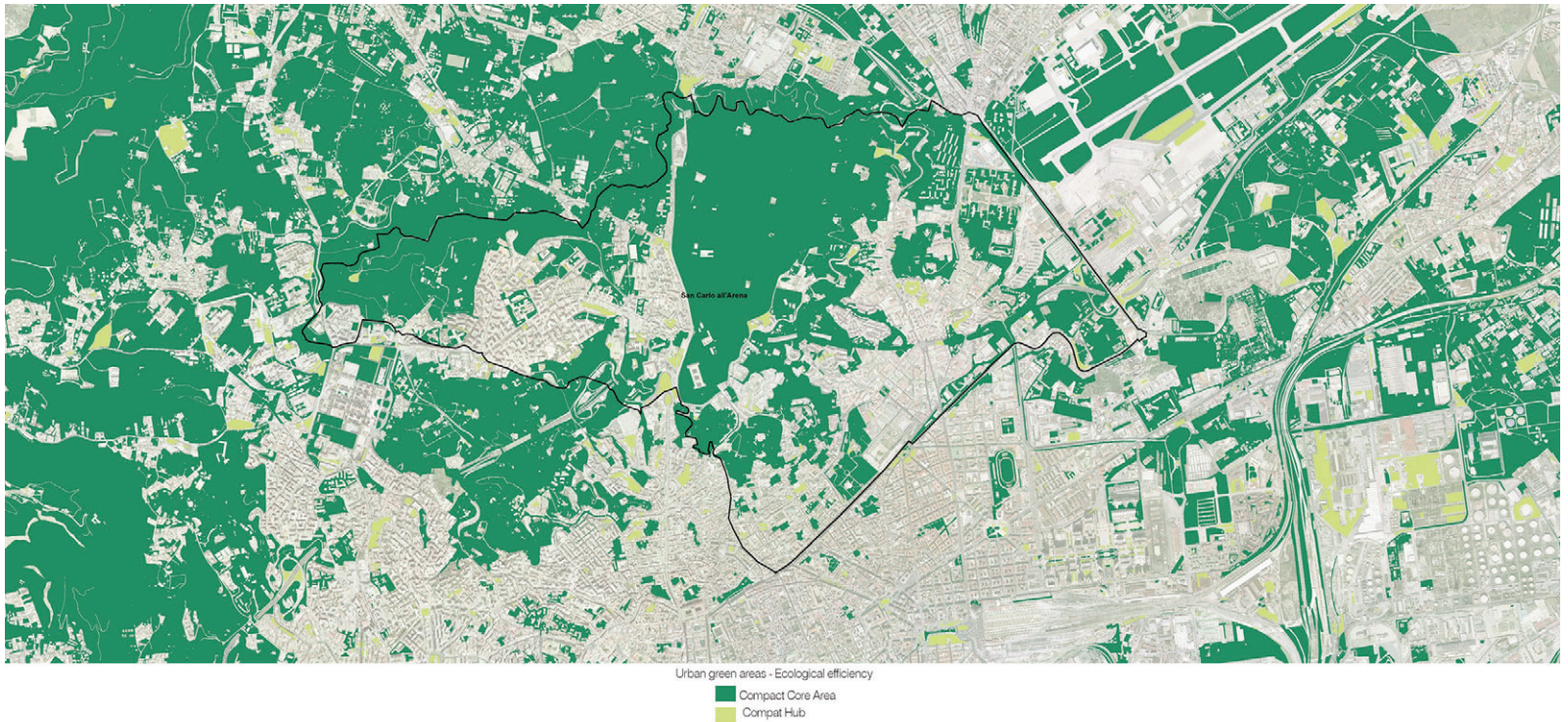
In this sense, the technology of GIS-based information systems allows structuring hierarchical models capable of mapping the conditions of efficiency for the existing urban areas stock, which

could potentially be part of a green urban infrastructure. This mapping supports the design process because it helps predetermine the building blocks for a potential urban network of natural and semi-natural areas. The model works on the number of areas meeting the efficiency criteria laid down in the conceptual framework and, indirectly, with the potential of the ecosystem services produced.

This paper aims to present a model to help select urban green areas, chosen within the framework of the already existing ones, able to outline multiple scenarios to design a green urban infras-

tructure in a fail-proof logic. The method was designed with the aim to test the replicability of the process and verify the reliability of its method and outcomes. The research method is original for its method and objectives. These latter are the validating of the design process in a predictive sense, and the conceptual positioning of the ecological efficiency as a specific characteristic of urban green spaces to reduce urban vulnerability to climate change.

Methodology | In this study, a methodology is presented for the recognition of areas potentially suit-



ed to the construction of green infrastructure on an urban scale. The model is functional for the ex-ante assessment of the capacity of green infrastructure in terms of dimensional and vegetation characteristics in support of climate adaptation projects for built heritage. The model is designed in a GIS-based framework to allow the classification of existing urban green areas in terms of ecological efficiency and produce thematic maps of ecological efficiency that can support the project decision on the actions to be taken for the creation of urban green infrastructure.

Moreover, the use of the GIS-based method has allowed the integration of the information concerning the environmental characteristics of the territory with the characteristics of the built heritage, aiming the outcome of the research at the creation of a knowledge framework that, starting from selected spatial information levels characterizing the urban fabric, allows to identify ecologically effective urban green areas that could be the backbone of functional green infrastructures for climate adaptation. This method has been developed within two competitive research projects carried out between 2017 and 2021. First, the National Research Project (PRIN) 'Adaptive design and technological innovations for resilient regeneration of urban districts under climate change'¹ and second, the PLANNER Project 'PLAform for the maNagement of Natural risks in urbanizEd enviRonments'.²

Figure 1 outlines the hierarchy of the indicators in the structure model developed in the PRIN to evaluate the ecological efficiency of urban green areas. The 'ecological efficiency' indicator is determined from two intermediate indicators called 'dimensional efficiency' and 'vegetational efficiency' (Cook, 2002; Losasso et alii, 2021).

The 'dimensional efficiency' of a green area is determined by two intermediate indicators, called Size and Compactness. The Size indicator evaluates the dimensions of the green area, and the Compactness indicator evaluates its compact-

ness, the greater it is the more the shape of the green area is similar to a circular area and the lower it is the more oblong it is. Tables 1 and 2 highlight the labels of the classes in which Size and Compactness indicators are partitioned. The Size indicator is made up of three classes: 'very extended', 'sufficiently extended' and 'not extended'. The green area is classified in one of the three classes according to its size. The Compactness indicator is made up of two classes; 'compact' and 'not compact', based on the value of the Compactness ratio parameter (R_c). It measures the difference in absolute value between the radius of a circular area of the same extent as the green area and the length consisting of twice the ratio between the area and the perimeter of the green area. The 'dimensional efficiency' indicator is made up of 6 classes. The compact green area is classified as a 'core area' if it is very extended, 'stepping zone' if sufficiently extended, and 'hub' if it is not extended. This same classification is used for non-compact green areas (Tab. 3).

The 'vegetation efficiency' is determined by taking into account the vegetation capacity and diversity. The vegetation capacity has been evaluated by the indicator 'structure' that takes into account the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for the live green vegetation. The NDVI index is determined by multispectral satellite images by measuring the absorption of chlorophyll pigments in the red region and the reflectance of the plant compound in the near-infrared region. Very low NDVI values show areas with scarce or absent live green vegetation; on the contrary, high values are present in forest/wood areas rich in vegetation. The NDVI index value of a green area is obtained by aggregating the NDVI values of the NDVI satellite raster pixels that fall within the polygon with a zonal statistical process. It is made up of 5 classes (Tab. 4).

The diversity of vegetation is assessed using the 'diversity' intermediate indicator which measures the biodiversity of the area. The 'diversity'

indicator is made up of 5 classes (Tab. 5), aggregating different types of land uses and is referred to the General Land Use: 'woodland', 'urban greenery', 'cultivated area', 'uncultivated area' and 'shrubs'. Woodland is a green area with high biodiversity, the opposite of a predominantly uncultivated area or an area made up of shrubs. The 'vegetation efficiency' indicator is made up of 2 classes (Tab. 6): 'vegetation effective' and 'not vegetation effective'. A green area is classified as 'vegetation efficient' if belongs to an at least middle 'structure' class and is mainly a woodland, urban greenery or cultivated area.

The final indicator 'ecological efficiency' is also made up of 2 classes (Tab. 7): 'ecologically effective' and 'not ecologically effective'. A green area is classified as 'ecologically effective' if it is 'compact' or a 'not compact core area' and if it is 'vegetation effective'. The 'not compact core areas' and 'vegetation effective' are classified as 'ecologically effective' since the large extension of the area is considered as a characteristic that makes up for its weak compactness in terms of ecological efficiency. Starting from a knowledge-based on land use data and the NDVI raster dataset, the model was implemented in a GIS platform to create the thematic maps of 'ecological efficiency' of urban green areas.

The following paragraph describes the results of the experimentation of the model carried out on the urban fabric of Naples and the results of the comparison between the ecological efficiency map and the map referring to the impact scenarios of heatwaves produced during the research activities of the PLANNER project.

Experimentation and results | Naples is located on an area of approximately 119 square kilometres with an urban green density of approximately 9.6%. The green capital in the city has different characteristics, size and morphology according to the modifications after the building expansion processes started after the II World War.



Fig. 8 | Re-Programming Barcelona, Barcelona Green Infrastructure and Biodiversity Plan 2020, designed by Aientament de Barcelona (source: takingcareproject.eu).

The Parco Metropolitan Delle Colline of Naples, created in 2004 by the Campania Region, is the main natural system of the city, located in the north-western area with a size of about 2,215 hectares. The park area crosses the districts of Pianura, Soccavo, Chiaiano, Miano, San Carlo all'Arena, Stella, Vomero and Arenella. Within this park, between Soccavo, Pianura and Vomero districts, there is the Camaldoli hill and its urban park. The Parco di Capodimonte and Posillipo ridge complete the picture of the particular important and extensive natural capital of the city. The Naples green system also envisages the presence of a large number of areas ranging from public green spaces (street furniture areas, such as flower beds, gardens and small gardens) to urban parks (divided into urban district parks and city parks, both natural/ornamental and monumental), depending on their size and position.

The implementation of this model in Naples has led to finding the ecological efficiency of green areas in Naples. Figure 2 shows the map of the 'ecological efficiency' of green areas in Naples, where the boundaries of each district are represented. The map was obtained by implementing a hierarchical model on a GIS-based platform (Fig. 1) using the GIS ESRI ArcGIS Desktop 10.8 tool. The thematic maps show a high presence of ecologically effective green areas mostly in the western and north-western areas of Naples. According to the districts surface dimensions, the percentages of 'ecologically efficient' green areas are approximately 65% in Bagnoli and Pianura, and 56% in Posillipo. The most significant values are detected in the northern area of the city, in Chiaiano, Piscinola and San Carlo all'Arena districts, reaching respectively, 70%, 55% and 53% of 'ecologically effective' areas, while in the eastern area they drastically reduce: 20% in Barra and 15% in San Giovanni a Teduccio and are completely absent in the districts of the old city.

With regard to experimental research, vulnerability and impact maps of heat waves have been

used. The purpose of these maps is to analyze which 'ecologically effective' green areas closer to urban areas with a high incidence of heat waves impacts. These maps were created in a GIS environment implementing the method developed by Aprea, D'Ambrosio and Di Martino (2019) under the PLANNER project. This analysis allows to identify the supporting structure of a network of green areas on urban scale. Further, it is possible to identify areas to protect, implement and connect through environmental design projects. These latter aimed at maximizing the ecosystem benefits deriving from their location within the urban system.

Figure 3 shows the thematic map of the long-term impact scenario (projections from 2071 to 2100) on the citizens touched by fuel poverty, developed by the PLANNER project (results will be published shortly). The citizens touched by fuel poverty are represented by the population susceptible to energy poverty and, therefore, highly exposed to adverse health effects from heatwave scenarios. In the impact scenario, the reference was the RCP 4.5 (Representative Concentration Pathway) emission model. It is contained in the AR5 report made by Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2014). According to it, heatwave events lasting 60 consecutive days are estimated for Naples. The impact scenario map shows that most of the Naples Municipality censused sections (84% of the sections) are classified as 'high impact class' (2%) or 'medium-high' (82%). Only 9% of the sections are classified as 'medium impact class', while 7% are 'medium-low' and no section is classified as 'low impact class'. The city centre, in particular, is one of the riskiest areas, with a high presence of areas with 'high' or 'medium-high' impact.

Therefore, the analysis of the two thematic maps highlights some relevant criticalities, especially in the city centre. This is due to the low number of 'ecologically effective' green areas with a high population density. Here, the risks associ-

ated with heat wave scenarios will increase significantly in the future, particularly for people living in energy poverty. For each district, the histogram of Figure 4 depicts the percentage of high-impact areas (high and medium-high impact classes) and the percentage of ecologically effective areas, according to the different district's size. The most critical districts are the districts of the old city: Pendino, San Lorenzo, San Giuseppe, Porto, Mercato and San Ferdinando. Here, the incidence of high-impact areas is high and the presence of ecologically effective green areas is low. A particularly difficult situation is highlighted also in the eastern area of the city, in the districts of Barra, San Giovanni a Teduccio and in the Industrial area districts. A more limited condition of the impacts emerges in the districts where the presence of 'ecologically effective' green areas is stronger, as in Bagnoli, Pianura, Chiaiano, San Carlo all'Arena and Posillipo.

Conclusions | In the light of the experimental results carried out by the model, a first characterization of urban existent green areas has been done based on their ecological potential. By overlaying these maps, the feasibility of urban green infrastructure is demonstrated, thanks to the presence of many large ecologically efficient areas. However, the green system network needs to be enhanced by creating connection zones, which in the model seem to be scattered and few, thus resulting inadequate for the effective synergy of the network. These first results are in line with the literature in this field (Foltête, Girardet and Clauzel, 2014), and admit some key considerations for designing an urban green infrastructure.

The green infrastructure project has to envisage specific measures for the protection of the 'ecologically effective' green areas (notably when classified as 'core areas') due to they are the main driver to produce ecosystem services in the network. These latter emerge by the proposed methodology as a key part of the city's natural capital, so the

goal is to protect these areas as a common good not renewable in the short- or medium-term. To this end, the design approach aims at identifying land uses to enhance urban woodlands, also by indicating them as places to shelter in the event of extreme heatwaves. Compatible land uses are those aimed to promote healthier and sustainable lifestyles, such as leisure, environmental education, sports activities and certain psychotherapy types. Specific maintenance actions inspired by urban forestry practices must also be established for these areas (Semenzato and Agrimi, 2009; Jim, 2017).

For 'moderately effective' areas, the green infrastructures project needs to work on physical and ecological characteristics in order to improve their environmental performances with regard to the threshold values established by the model. In operational terms, there is a need to design a mix of renaturation actions aimed at increasing the biodiversity of the urban environment, including new land uses such as urban gardening and urban agriculture, especially at the district scale.

Acknowledgements

The paper is the result of a joint reflection by the Authors in the field of competitive research on this subject.

Notes

1) The PRIN 2015 research group is made up of the University of Naples 'Federico II' (Lead Partner), the Polytechnic University of Milan, the 'Sapienza' University of Rome, the 'Luigi Vanvitelli' University of Campania, the University of Florence and the 'Mediterranea' University of Reggio Calabria.

2) The PLANNER project, POR 2014-2020, was carried out by a research group from the Department of Architecture at the 'Federico II' University of Naples (Scientific Supervisor: V. D'Ambrosio; GIS-Based Processes Manager: F. Di Martino), together with a Research Group of the Department of Structures for Engineering and Architecture and the ETT S.p.A., GeneGIS S.r.l., STRESS Scarl partners. Professor G. M. Verderame was the Scientific Supervisor of the project.

References

Apreda, C., D'Ambrosio, V. and Di Martino, F. (2019), "A climate vulnerability and impact assessment model for complex urban systems", in *Environmental Science and Policy*, vol. 93, pp. 11-26. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.016 [Accessed 17 March 2022].

Benedict, M. A. and McMahon, E. T. (2002), "Green Infrastructure – Smart Conservation for the 21st Century", in *Renewable Resources Journal*, vol. 20, n. 3, pp. 12-17. [Online] Available at: merseyforest.org.uk/files/documents/1365/2002+Green+Infrastructure+Smart+Conservation+for+the+21st+Century..pdf [Accessed 17 March 2022].

Cook, E. A. (2002), "Landscape structure indices for assessing urban ecological networks", in *Landscape and Urban Planning*, vol. 58, issue 2-4, pp. 269-280. [Online] Available at: doi.org/10.1016/S0169-2046(01)00226-2 [Accessed 17 March 2022].

D'Ambrosio, V., Rigillo, M. and Tersigni, E. (2020), "Orizzonti della ricerca ambientale e nuovi perimetri culturali per il progetto climate proof", in D'Ambrosio, V., Rigillo, M. and Tersigni, E. (eds), *Transizioni – Conoscenza e progetto climate proof*, Clean, Napoli.

The urban green infrastructure project must envisage extra design operations, aimed at strengthening the network connection. Here, new design solutions should concern the areas classified as 'not extended' but strategically placed for implementing the ecological connecting capacity of the network. This type of area also represents intermediate spatial areas between the natural and built environment (green facades, green roofs, urban corridors, etc.), apt for nature-based solutions (Fig. 8).

Therefore, it is possible to conclude that the implementation of the GIS model allows for the recognition of existing urban areas that could potentially be part of a green urban infrastructure. Although only four indicators came into play, the experimentation on the case study of Naples demonstrates that the model can represent and characterize the differences between existing green areas. In this sense, the model can support the project decisions for urban green infrastructure. Further, the model allows to select the most suitable measures and projects according to the

European Commission (2021), *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Forging a climate-resilient Europe – The new EU Strategy on Adaptation to Climate Change*, document 52021DC0082, 82 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX:52021DC0082 [Accessed 17 March 2022].

European Commission (2019), *Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Review of progress on implementation of the EU green infrastructure strategy*, document 52019DC0236, 236 final. [Online] Available at: eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2019:236:FIN [Accessed 17 March 2022].

European Commission – Directorate-General for Environment (2014), *Building a green infrastructure for Europe*, Publications Office. [Online] Available at: doi.org/10.2779/54125 [Accessed 17 March 2022].

Foltête, J.-C., Girardet, X. and Clauzel, C. (2014), "A methodological framework for the use of the landscape graphs in land-use planning", in *Landscape and Urban Planning*, vol. 124, pp. 140-150. [Online] Available at: doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.12.012 [Accessed 17 March 2022].

IPCC (2014), *Climate Change 2014 – Synthesis Report – Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Online] Available at: ipcc.ch/report/ar5/syr/ [Accessed 17 March 2022].

Jiang, Y., Jiang, S. and Shi, T. (2020), "Comparative Study on the Cooling Effects of Green Space Patterns in Waterfront Build-Up Blocks – An Experience from Shanghai", in *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, issue 22, 8684, pp. 1-29. [Online] Available at: doi.org/10.3390/ijerph17228684 [Accessed 17 March 2022].

Jim, C. Y. (2017), "Conservation and Creation of Urban Woodlands", in Tan, P. Y. and Jim, C. Y. (eds), *Greening Cities – Forms and Functions*, Springer, Singapore, pp. 307-330. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-981-10-4113-6_14 [Accessed 17 March 2022].

Losasso, M., Giugni, M., D'Ambrosio, V., Rigillo, M., De Paola, F., Di Martino, F., Pugliese, F., Dell'Acqua, F. and Gerundo, C. (2021), "Multi-scale Design for the Resilience of Urban Districts – Eco-districts and Climate-

different classifications of existent green areas, and it addresses the key actions to reduce climate impacts on the population.

A limit of the proposed GIS-based model is the classification accuracy. In the literature, Datasets of urban green areas already labelled as effectively ecological (or not effectively ecological) are not currently available to be used as a training set for the model. Future research steps will be aimed to improve the model performance by building a dataset of urban green areas, whose characteristics will be acquired and measured on-site. New physical and environmental indicators will be added and appropriately calibrated in order to optimize the accuracy of the classification measured on the training set of urban green area.

proof Solutions for the Western Area of Naples – The Application Case of Soccavo", in Bologna, R., Losasso, M., Mussinelli, E. and Tucci, F. (eds), *From Urban District to Eco-district – Knowledge Methodologies, Strategic Programmes, Pilot Projects for Climate Adaptation*, Maggioli Editore, Milano, pp. 86-98.

MEA – Millennium Ecosystem Assessment (2005), *Ecosystems and Human Well-Being – Synthesis*, Island Press, Washington (DC). [Online] Available at: millenniumassessment.org/en/Synthesis.aspx [Accessed 21 March 2022].

Monteiro, R., Ferreira, J. C. and Antunes, P. (2020), "Green Infrastructure Planning Principles – An Integrated Literature Review", in *Land*, vol. 9, issue 12, 525, pp. 1-19. [Online] Available at: doi.org/10.3390/land9120525 [Accessed 17 March 2022].

Parker, J. and Zingoni de Baro M. E. (2019), "Green Infrastructure in the Urban Environment – A Systematic Quantitative Review", in *Sustainability*, vol. 11, issue 11, 3182, pp. 1-20. [Online] Available at: doi.org/10.3390/su11113182 [Accessed 17 March 2022].

Rigillo, M. (2016), "Infrastrutture verdi e servizi ecosistemici in area urbana – Prospettive di ricerca per la progettazione ambientale | Green Infrastructures and Ecosystem Services in urban areas – Research perspectives in environmental design", in *Techne | Journal of Technology and Environment*, vol. 11, pp. 59-65. [Online] Available at: doi.org/10.13128/Techne-18402 [Accessed 17 March 2022].

Semenzato, P. and Agrimi, M. G. (2009), "La selvicoltura urbana – Non solo la cura degli alberi", in Ciancio, O. (ed.), *Atti del III Congresso Nazionale di Selvicoltura – 16-19 Ottobre 2008 Taormina (Messina)*, vol. 3, Accademia Italiana Scienze Forestali, Firenze, pp. 948-953. [Online] Available at: aisfdotit.files.wordpress.com/2013/08/taormina-terzo-ottobre.pdf [Accessed 17 March 2022].

Vargas-Hernández, J. G., Pallagst, K. and Zdunek-Wielgołaska, J. (2018), "Urban Green Spaces as a Component of an Ecosystem", in Dhiman, S. and Marques, J. (eds), *Handbook of Engaged Sustainability*, Springer, Cham, pp. 1-32. [Online] Available at: doi.org/10.1007/978-3-319-53121-2_49-1 [Accessed 17 March 2022].

Ying, J., Zhang, X., Zhang, Y. and Bilan, S. (2021), "Green infrastructure – Systematic literature review", in *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*. [Online] Available at: doi.org/10.1080/1331677X.2021.1893202 [Accessed 17 March 2022].