

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**  
**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E**  
**AMBIENTALE**

*Department of Civil, Environmental and Architectural  
Engineering*

Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

**ANNO ACCADEMICO 2023-2024**



## **Tesi di Laurea**

Verso uno sviluppo urbano *climate-resilient*: infrastrutture verdi e blu per la mitigazione delle ondate ed isole di calore

Relatore: Salvatore Pappalardo

Laureando: Francesco Calista



## Abstract

Tra gli effetti dei cambiamenti climatici, gli eventi meteorologici estremi, come ondate di calore e precipitazione intensa, hanno un impatto crescente sull'ambiente cittadino e sui propri residenti. Considerando l'aumento della frequenza e della magnitudo di tali eventi, risulta cruciale progettare e sviluppare delle strategie di adattamento in contesto urbano, capaci di contrastare le problematiche trattate e i loro effetti locali. Per tale motivo, migliorare l'ambiente cittadino e renderlo più resiliente ai cosiddetti "estremi climatici" è di vitale importanza per fronteggiare le sfide future.

In quest'ottica, la tesi in oggetto si propone di esplorare le misure e i dispositivi attualmente implementati per contrastare efficacemente le conseguenze derivate dal cambiamento climatico. In particolare, tramite l'utilizzo delle cosiddette infrastrutture blu e verdi, la tesi si focalizza sull'adattamento alle ondate di caldo estremo combinate con l'effetto delle isole di calore urbano, che causano un notevole stress termico sugli abitanti.

Dall'analisi bibliografica condotta emerge che tali infrastrutture hanno numerosi benefici sia sull'ambiente che sulla salute dei cittadini, oltre che risultare appunto convincenti nel combattere le tematiche considerate.

Ad esempio, i parchi cittadini riescono a ridurre la temperatura dell'aria di due o tre gradi centigradi tramite l'evapotraspirazione, ed estendono il loro effetto raffrescante fino a diverse centinaia di metri oltre i propri confini.

I risultati ricavati nella ricerca suggeriscono che l'uso di infrastrutture blu e verdi, come i corsi d'acqua o gli interventi di forestazione urbana, rappresentano delle opportunità operative alla realizzazione di uno sviluppo urbano resiliente e migliore di quello attuale. L'utilizzo di pavimentazioni drenanti e delle soluzioni analizzate nel progetto, potrebbe diminuire non solo gli impatti dei problemi in questione, come le notti tropicali, ma anche altri rischi cittadini al fine di affrontare le conseguenze del riscaldamento globale in ambiente urbano.



# Indice

1 Introduzione .....	- 7 -
1.1 Impatti locali del riscaldamento globale.....	- 7 -
1.2 Contesto e problematiche: ondate ed isole di calore urbano .....	- 9 -
1.3 Obiettivi della ricerca .....	- 14 -
1.4 Strategie per migliorare l'ambiente urbano e indicatori fondamentali.....	- 15 -
2 Materiali e metodi.....	- 21 -
2.1 Risorse utilizzate per la ricerca.....	- 21 -
2.2 Dati elaborati per i risultati.....	- 21 -
2.3 Metodologie e strumenti usati nell'analisi.....	- 22 -
3 Risultati.....	- 23 -
3.1 Infrastrutture verdi e blu in città.....	- 23 -
3.2 L'importanza della copertura del suolo e dei materiali utilizzati .....	- 31 -
3.3 Casi studio nazionali.....	- 33 -
3.4 <i>Green and blue infrastructures</i> : esempi virtuosi in Europa .....	- 39 -
3.5 Metriche di raffrescamento.....	- 43 -
3.6 Da isola di calore ad area di mitigazione: opportunità dai vuoti urbani.....	- 45 -
4 Discussioni.....	- 47 -
4.1 Prevenzione, politiche e sostenibilità urbana .....	- 47 -
4.2 Considerazioni finali .....	- 49 -
Appendice .....	- 51 -
Bibliografia .....	- 55 -
Sitografia.....	- 57 -



# 1 Introduzione

## 1.1 Impatti locali del riscaldamento globale

I cambiamenti climatici, secondo il sesto rapporto dell'IPCC, ovvero l'organismo internazionale che si occupa di *climate change*, sono inequivocabilmente causati dall'attività antropica e rappresentano una seria minaccia alla sopravvivenza del genere umano. Le evidenze scientifiche a sostegno di tale affermazione sono numerose: per citarne alcune, si potrebbe discutere della concentrazione atmosferica di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), estrapolata dai campionamenti glaciali in Antartide all'interno del progetto EPICA (porzione della calotta antartica orientale chiamata Dome C), la quale risale fino a 800.000 anni fa, oppure delle prove dendrocronologiche che si basano sulla densità e sull'ampiezza degli anelli degli alberi o, ancora, dello studio dei pollini e delle spore fossili (palinologia) contenuti nelle torbiere [10]. Le evidenze empiriche quindi, sia naturali che strumentali fornite a partire dai dati sul nostro pianeta, sono schiacciati a riguardo e trovano in accordo la totalità, quasi, della comunità scientifica.

La scoperta del riscaldamento globale viene attribuita a svariati scienziati che per oltre un secolo hanno studiato la fisica del pianeta e le interazioni tra le componenti del sistema climatico. Per avere un quadro chiaro ed esaustivo sull'argomento si consiglia la lettura del libro "*The Discovery of Global Warming*", pubblicato da Spencer Weart ancora nel 2003 [10]. Una frase incisiva riguardo agli studiosi come Arrhenius, presa in prestito da "Il clima che cambia", saggio di Luca Mercalli uscito per la prima volta nel 2009, è la seguente: "Chi ancora oggi sbrigativamente liquida il problema del riscaldamento globale con intollerabile spavalderia, negandone le basi scientifiche, quasi sempre ignora questi nomi e ne oscura e offende la memoria".

Non volendo fare un elenco troppo lungo, si riportano solo alcuni esempi recenti di avvenimenti legati al cambiamento climatico in modo da comprendere la portata e l'incidenza di tali fenomeni, oltre che visualizzarne le conseguenze sul genere umano.

Partendo dal 2017 e dall'Italia, nel bel paese si registra una delle annate più asciutte in termini di precipitazioni dal 1800, tant'è che manca all'appello quasi un terzo dell'apporto idrico, con conseguenti danni ingenti all'agricoltura. Nell'estate dello stesso anno vengono stabiliti dei record di temperatura massima, pari a 43 °C, in alcune città dell'Emilia-Romagna durante un'ondata di calore.

Guardando al resto del mondo, incendi forestali dilagano in Portogallo e Canada (British Columbia) mentre diversi uragani tropicali investono gli Stati Uniti e i Caraibi causando sfollati e innumerevoli vittime. Per dare un'idea della forza distruttiva di questi eventi, si pensi che la tempesta tropicale Irma ha mantenuto venti fino a 300 km/h per quasi tre giorni consecutivi (70 ore) [10].

Passando al 2019, nel mese di giugno si assiste ad un'eccezionale ondata di caldo in Francia e nel Nord Italia, la quale fa registrare 46 °C in un paesino dell'Occitania vicino a Montpellier [10]. A novembre invece, la seconda peggiore acqua alta della storia colpisce Venezia con un livello del mare che raggiunge quota 189 cm sullo zero mareografico, comportando pesanti danni economici e sociali. Ciò significa che essendo a quota di un metro sopra il livello medio del mare, ci si ritroverebbe con quasi un altro metro di acqua. Nel vicino 2022 si sono verificati svariati eventi climatici estremi su scala globale, i quali hanno causato perdite umane ed enormi ripercussioni economiche. Tra i peggiori vi sono diversi uragani (Fiona, Ian, etc.) insistenti sul continente nordamericano e alluvioni in Cina, Australia orientale e Pakistan, la quale ha provocato da sola migliaia di vittime, sette milioni di sfollati e circa 5,6 miliardi di dollari di danni; la siccità non è stata da meno colpendo duramente Cina, Brasile ed Europa, dove si stima che i danni si attestino sui 20 miliardi di dollari.

Infine, nell'anno passato, luglio è stato riconosciuto come il mese più caldo in assoluto (temperatura media globale di 1,54 °C superiore rispetto alla media preindustriale) e, in particolare, i primi giorni del mese sono stati etichettati come i più caldi mai registrati, in cui la temperatura media globale ha superato per la prima volta i 17 gradi centigradi (per la precisione 17,23 °C, il sei luglio 2023). Focalizzandosi sull'Italia si sono riscontrate alluvioni, temperature da record, frane e, stando a quanto riportato da un comunicato di Legambiente e da altre fonti, gli eventi meteorologici estremi registrati sono stati 378 durante tutto l'anno, un aumento del 22% rispetto al 2022.

Come constatato, gli effetti del riscaldamento globale, sebbene la scala spaziale di tale fenomeno sia molto vasta, si possono ripercuotere a livello locale in svariate circostanze arrivando a colpire duramente i centri abitati. A tal proposito, vi sono innumerevoli minacce alla loro integrità come l'innalzamento del livello dei mari, gli eventi meteorologici estremi, sempre più intensi e frequenti, e così via. Rendere le città più sostenibili e resilienti, cioè più resistenti a quelle che saranno le variazioni ambientali,



risulta di fondamentale importanza per contrastare un enorme problema, che contiene al suo interno numerosissime difficoltà ed effetti a cascata, potenzialmente mortali per la nostra specie. Per queste ragioni, si è deciso di studiare come la riqualificazione di aree urbane in blu e verde pubblico possa influire positivamente sia sulle zone colpite dalle isole di calore che sulla qualità dell'ambiente cittadino, poiché esse sarebbero in grado di svolgere numerosi compiti benefici come, ad esempio, filtrare le polveri sottili presenti nell'aria.

## 1.2 Contesto e problematiche: ondate ed isole di calore urbano

Al giorno d'oggi la maggior parte delle persone, cioè circa il 54 % della popolazione, vive nelle città di tutto il mondo, le quali rappresentano dei luoghi perfetti per sperimentare le soluzioni da adottare in futuro in contrasto ai cambiamenti climatici di questo secolo [21]. Il crescente processo di urbanizzazione comporta una trasformazione d'uso del suolo, che si traduce in un aumento areale di copertura artificiale. Ciò determina, a sua volta, l'impermeabilizzazione del terreno ed altri effetti negativi, come la pressione sugli habitat naturali e la biodiversità. Il primo porta con sé altre conseguenze nei centri abitati: per esempio diminuendo la capacità di assorbire acqua da parte del suolo, durante eventi di pioggia intensa, è più probabile che si verifichino inondazioni in città a causa della sovrappressione sul sistema fognario e su varie opere idrauliche. Basti pensare a ciò che è successo recentemente in alcune aree della Toscana, dove a novembre 2023 è stato dichiarato lo stato di emergenza nazionale in seguito ad eventi meteorologici estremi. Nel periodo tra il 1992 e il 2015 si è avuta un'espansione incredibile dell'area totale urbanizzata, quantità più che raddoppiata in questo arco temporale [15]. Secondo altri dati, forniti dalla *European Environment Agency* (EEA), l'80% della popolazione europea vivrà in aree urbane entro il 2050. Di conseguenza, si avranno sempre più cittadini esposti alle dinamiche di inquinamento e a fenomeni sempre più preoccupanti in città: le isole di calore urbano. Inoltre, risulta evidente come la maggior parte degli impatti, ad esempio sotto forma di rifiuti o consumo energetico, venga prodotto nelle zone maggiormente urbanizzate. Per ciò, bisogna rendersi conto che i centri abitati sono in prima linea quando si parla di mitigare i cambiamenti climatici e contrastarne gli effetti.

La problematica oggetto della ricerca, compresa all'interno degli eventi meteorologici estremi, è un fenomeno denominato ondata di calore, ovvero un prolungato

periodo di temperature elevate associate ad alte percentuali di umidità che causano un notevole stress termico. Per essere definita come tale, le temperature massime delle giornate prese in considerazione devono superare una soglia di temperatura (in gradi Celsius), opportunamente definita, per almeno tre giorni consecutivi [7]. Vi sono molteplici conseguenze dovute a queste anomalie termiche: rischi legati alla salute, potenziali danni all'agricoltura o, ancora, un maggiore consumo di risorse per combattere l'eccessivo calore. Una ripercussione grave sul benessere delle persone proviene da quelle che vengono definite notti tropicali (*tropical nights*, TN), cioè dei giorni in cui la temperatura minima, raggiunta tipicamente nelle ore notturne, non scende sotto i 20 °C. Gli effetti delle ondate di calore, infine, vengono esacerbati nel tipico contesto urbano, dove dominano materiali poco consoni e viene prodotto maggiore inquinamento.

Generalmente in molte città, da quelle più piccole fino alle maggiori metropoli, si assiste ad un fenomeno chiamato isole di calore (le cosiddette *Urban Heat Islands*, UHI), il quale amplifica gli effetti delle ondate di calore ed è strettamente connesso allo sviluppo del centro abitato stesso. Ciò che succede in sintesi, soprattutto durante la stagione estiva, è un riscaldamento eccessivo e locale, dovuto alle ondate di calore e ad altri fattori, che si traduce in un aumento della temperatura dell'aria e in altri effetti dannosi. Diverse ricerche scientifiche, hanno mostrato come questo fenomeno sia un problema rilevante in grado di influenzare i microclimi locali (portando a temperature maggiori) con conseguenze anche mortali sugli esseri umani, soprattutto per alcune categorie di residenti quali anziani e persone con patologie pregresse [2]. Infatti le isole di calore urbano aumentano il consumo di energia (per il raffreddamento) e il picco di elettricità richiesta durante il periodo estivo, portando a maggiori emissioni di CO<sub>2</sub>, alzano la concentrazione di pericolosi inquinanti come l'ozono troposferico ed incidono sulle temperature degli spazi sia aperti che chiusi [1]. Inoltre, esse amplificherebbero le conseguenze delle ondate di calore, che sono una delle principali minacce alla salute della popolazione, con ripercussioni maggiori su alcune categorie di cittadini come gli anziani, i bambini e i gruppi a basso reddito [7]. A questi si aggiungono anche le persone con problemi di salute e disabilità. Infatti, sempre secondo l'Agenzia Europea per l'ambiente, si stima che le ondate di calore negli ultimi decenni abbiano causato il 90% delle morti in Europa, legate ad eventi meteo-climatici estremi. Considerando che, già dieci anni fa, si osservava un

aumento in frequenza e intensità delle ondate di calore e che questa tendenza non ha fatto altro che peggiorare, si può comprendere meglio la portata del fenomeno [6].

In più bisogna sottolineare che le previsioni future non appaiono affatto rassicuranti: la mappa sottostante ne riporta una a livello europeo.

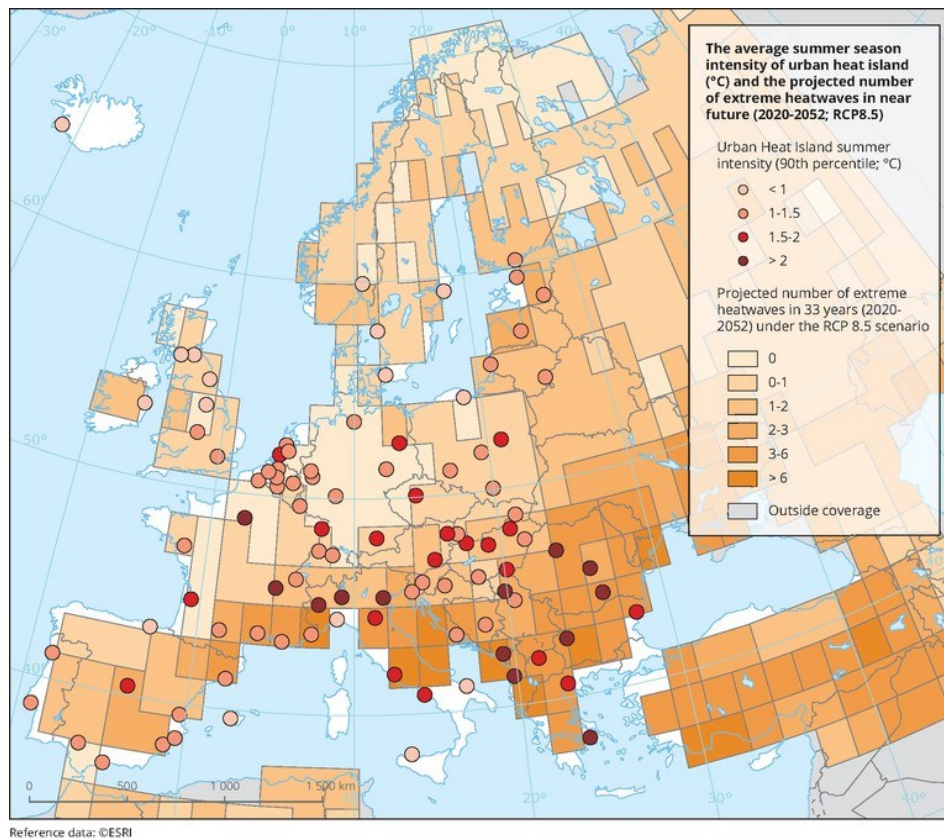


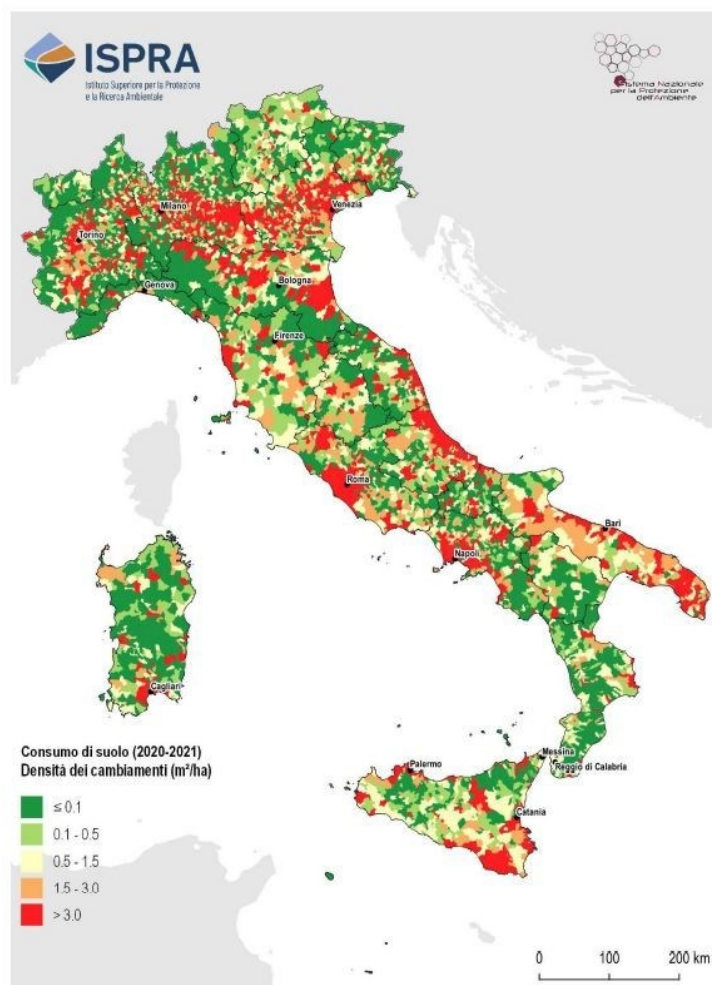
Figura 1: mappa contenente l'intensità media delle UHI e il numero di ondate di calore estreme in Europa (proiezioni 2020-52; RCP8.5). (Fonte: EEA\_dati e mappe)

Per la mappa tematica (Figura 1), si deve considerare che l'intensità delle UHI è stata stimata per 100 città europee a partire dai dati satellitari di Copernicus ed è rappresentata da un indicatore spaziale di una certa metropoli, chiamato intensità UHI P90 (90-esimo percentile). Questo si ottiene sottraendo il valore di temperatura, associato al P10 (decimo percentile) di spazio rurale, dalla mappa della temperatura media dell'aria e operando ulteriori correzioni. Inoltre, bisogna tenere presente che la figura si riferisce allo scenario peggiore in termini di concentrazione di gas serra, ovvero il *Representative Concentration Pathway 8.5* (RCP 8.5), il quale indicherebbe un comportamento *business-as-usual* verso le emissioni.

Per quanto riguarda il consumo di suolo, cioè un fenomeno associato alla perdita di superfici permeabili (naturali, seminaturali o agricole), si deve visualizzarlo come un incremento della copertura artificiale del terreno principalmente per usi insediativi urbani ed infrastrutturazione del territorio. Esso quantifica appunto la variazione da un rivestimento non artificiale ad uno artificiale, e si riferisce ad un aumento netto della copertura artificiale. La tendenza crescente di questo indicatore mette sotto pressione la biodiversità, degradando gli habitat naturali, e contribuisce a svariate problematiche che vanno dal sequestro del carbonio atmosferico all'impermeabilizzazione del suolo, comprendendo anche gli effetti delle isole di calore. Infine, secondo diverse fonti, questo fenomeno assieme alla copertura del terreno e allo stato delle foreste, costituisce una delle principali cause del riscaldamento globale. Oltretutto, come già accennato, questo cambiamento è intimamente connesso alle UHI e andrebbe preso in maggiore considerazione poiché ne amplifica le conseguenze. Infatti, alcune città soprattutto in determinati periodi stanno diventando sempre più invivibili e volendo fare una panoramica nazionale, i casi che spiccano sono quelli di Milano, Roma, Torino, Firenze e anche Padova. A tal proposito, una ricerca condotta un paio d'anni fa dal Cnr-IBE (*Institute of BioEconomy*) in collaborazione con Ispra, si è dedicata proprio all'influenza della copertura arborea e delle superfici artificiali sulle UHI in dieci città metropolitane del paese [11]. Da essa si evince un risultato interessante, che sarà incluso nelle conclusioni del documento.

Focalizzandosi sull'Italia e stando all'annuario dei dati ambientali (2022), elaborato da Ispra, il Veneto e il nord del paese detengono dei tassi maggiori rispetto alla media nazionale. Infatti, dal 2006 al 2021, il consumo di suolo è aumentato di oltre 115.000 ettari, di cui quasi il 40% concentrato nelle regioni settentrionali, in particolare Lombardia, Veneto, Emilia-Romagna e Piemonte.

Si può notare dalla mappa nazionale (Figura 2), contenente la densità dei cambiamenti per il 2021 riguardo tale fenomeno, come il deterioramento del terreno si concentri soprattutto nella pianura Padana e in alcune zone costiere, quali Lazio, Abruzzo e parte della Puglia. La figura dimostra come le aree maggiormente urbanizzate, a livello nazionale, possiedano un aumento superiore del consumo di suolo rispetto alle altre.



*Figura 2: Densità dei cambiamenti di consumo di suolo netto (livello comunale) relativi al 2021. (Fonte: elaborazioni ISPRA su cartografia SNPA)*

### 1.3 Obiettivi della ricerca

L'obiettivo principale della ricerca è comprendere l'importanza delle aree verdi e blu nelle città, in contrasto agli effetti del riscaldamento globale, e in particolare a quelli delle UHI considerati i segnali allarmanti provenienti dagli studi in questo settore.

Secondo quanto affermato, risulta importante investire in soluzioni tecniche all'avanguardia per migliorare la qualità di vita dei cittadini e il contesto urbano stesso. In questo progetto quindi, si vuole analizzare quanto incidono le aree verdi e blu in città e valutarne gli effetti positivi in contrasto ai fenomeni citati precedentemente, sottolineando l'importanza di recuperare zone dismesse od abbandonate per trasformarle in spazi dedicati a parchi oppure giardini pubblici. Questa riqualificazione ambientale sarebbe possibile attraverso la costruzione di ecotoni nelle aree a maggiore densità di calore urbano sensibile, ovvero degli ecosistemi di passaggio cruciali per stoccare carbonio e attenuare gli effetti delle UHI [16].

Un ulteriore obiettivo, dunque, consiste nel mostrare quali siano le soluzioni possibili per migliorare effettivamente la risposta a tali dinamiche e la resilienza cittadina. Infatti, la qualità degli ambienti urbani risulta vulnerabile agli effetti dei cambiamenti climatici e, come già visto, gioca allo stesso tempo un ruolo cruciale nella loro mitigazione [2]. Infine, attraverso questa ricerca, si vuole sia fornire un quadro sintetico per facilitare le scelte politiche e urbanistiche verso la giusta direzione, le quali diventano poi fondamentali nella realizzazione di centri abitati migliori, che dimostrare il ruolo cruciale delle infrastrutture blu e verdi nel creare un modello urbano più sostenibile ma soprattutto più resistente alle variazioni climatiche future.

## 1.4 Strategie per migliorare l'ambiente urbano e indicatori fondamentali

Al fine di contrastare gli effetti delle problematiche esposte precedentemente, ovvero le conseguenze del consumo di suolo e delle ondate di calore, bisogna attuare delle strategie di mitigazione e adattamento per il contesto urbano. Un mezzo efficace per combattere i cambiamenti climatici in città sono le cosiddette *Nature-Based Solutions* (NBSs), le quali sono considerate degli strumenti cruciali per questo scopo ma molto spesso vengono sottovalutate, come succede con gli ecosistemi ripariali [16].

Per NBSs, ovvero degli approcci risolutivi basati sugli ecosistemi, si intendono delle soluzioni naturali che forniscono molteplici benefici ambientali, sociali ed economici. L'insieme di queste comprende sia il verde che il blu pubblico, cioè le cosiddette *Green and Blue Infrastructures* (GBI), in quanto entrambi sono in grado di offrire svariati servizi eco-sistemici vitali per i residenti, come ad esempio sequestrare carbonio dall'atmosfera oppure ridurre il rischio derivante dai disastri naturali. Esse, quindi, costituiscono un approccio efficace in termini di adattamento ai cambiamenti climatici, rappresentano un'alternativa valida per aumentare la resilienza delle città e contribuiscono al benessere sia delle persone che dell'ambiente. In pratica per le NBSs, vi sono svariate opzioni e campi di applicazione che vanno dall'agricoltura alla gestione delle acque; in particolare per gli interessi della ricerca si citano parchi e giardini urbani, ripristino di zone umide comprendenti piante ripariali ed utilizzo di "verde" per le pareti e i tetti degli edifici.

Tutte raffigurano delle NBSs interessanti per l'area urbana poiché forniscono un sostegno ai cittadini nell'affrontare le sfide dei prossimi decenni e delineano degli ecotoni urbani non indifferenti. Quest'ultimi, e in particolare i parchi, costituirebbero delle porzioni della foresta urbana, la quale è generalmente definita come l'insieme di tutta la vegetazione e degli alberi presenti in una città. Secondo alcuni studi le foreste urbane ridurrebbero le conseguenze delle ondate di calore e le alte temperature, non solo diminuendole nelle zone della città in loro prossimità ma anche fornendo un rifugio ai residenti sotto la vegetazione, che consiste praticamente in un microclima più fresco. L'abbassamento termico avviene principalmente con l'ombra creata dalle chiome delle piante e con l'evaporazione e la traspirazione indotte dalla vegetazione, che consumano calore latente a spese di quello sensibile. In modo analogo, si è notato come alcuni parchi cittadini europei sperimentino temperature massime, in estate, fino a quattro gradi inferiori rispetto a strade e piazze vicine, riducendo sensibilmente lo stress termico. L'estensione di questa

protezione, data dai microclimi, è determinata da caratteristiche ben definite come le specie di alberi presenti oppure la topografia dell'area in questione [15].

Inoltre, queste tipologie di approcci andrebbero a contrastare svariati problemi trattati, da un lato regolando il deflusso dell'acqua in città, se si pensa al rischio di alluvione, e dall'altro diminuendo la temperatura dell'aria per esempio. Si riporta di seguito uno schema (Figura 3) contenente degli esempi di soluzioni naturali con i loro benefici.

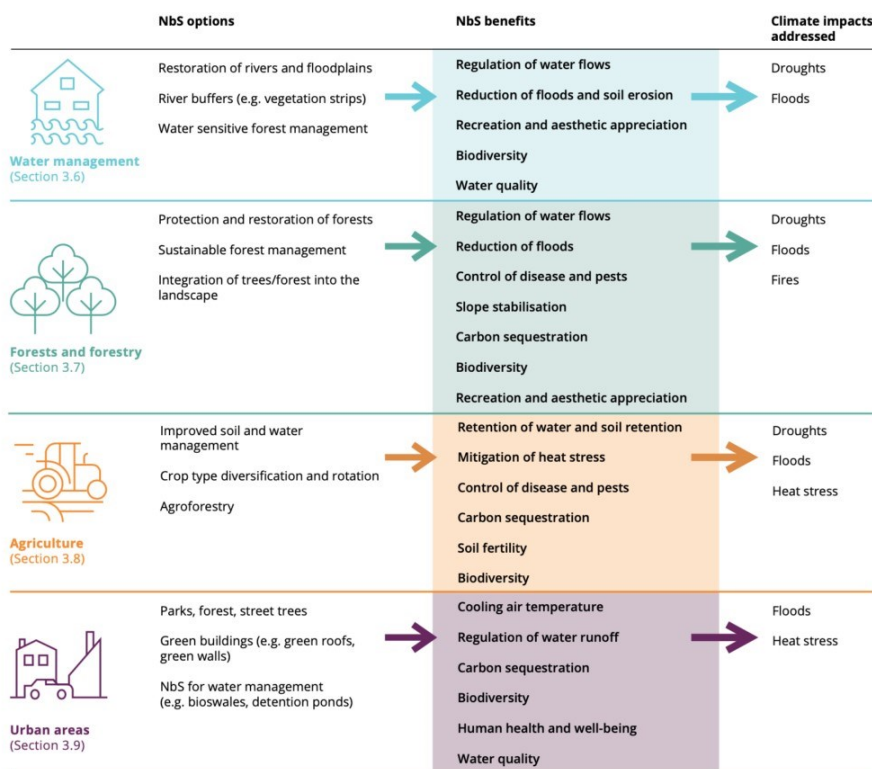


Figura 3: Schema di possibili NBSs, dei relativi benefici e degli impatti climatici a cui si oppongono. (Fonte: EEA\_publicazioni\_nature-based-solutions-in-Europe)

Per quanto riguarda le isole di calore, secondo uno studio del 2016, vi sono due principali categorie di tecnologie per ridurre gli impatti delle UHI. La prima concerne un possibile incremento dell'albedo per le superfici urbane, cioè un aumento della riflettività solare che comporterebbe una diminuzione della radiazione assorbita in città, ad esempio dagli edifici. La seconda invece, consiste nell'aumentare l'evapotraspirazione totale con tecnologie che mirano a sfruttare questa caratteristica naturale per contrastare la situazione attuale. Ciò sarebbe possibile attraverso l'uso intensivo e funzionale del verde urbano come per esempio i parchi, i tetti verdi o l'utilizzo di materiali permeabili dall'acqua [1]. Anche in questo caso, l'approccio risolutivo andrebbe a influire positivamente sia sul consumo di suolo che sugli effetti delle ondate di calore.



Tenendo in considerazione tutto ciò, risulta importante investire in queste soluzioni, da adottare consapevolmente, per migliorare l'ambiente cittadino e renderlo più resiliente.

Un'altra strategia da impiegare con maggiore successo è l'utilizzo di programmi informatici altamente accurati nell'ambito urbanistico e progettuale. Uno strumento molto diffuso nel valutare gli effetti dei potenziali interventi e diversi aspetti in città è un software chiamato ENVI-met, sviluppato in Germania a fine anni Novanta. Esso permette in sostanza di simulare scenari accurati, per esempio di progettazione, ed analizzare il microclima urbano tenendo conto di dinamiche complesse come l'evapotraspirazione. Quindi, risulta utile nel determinare l'efficienza delle strategie di mitigazione considerate e fornisce un supporto decisionale per gli esperti del settore, quali ingegneri, architetti e urbanisti. Inoltre, questo software è ampiamente conosciuto e utilizzato dai ricercatori per simulare, appunto, le condizioni termo e fluido dinamiche che occorrono nelle aree cittadine [2].

Considerando gli indici invece, che risultano essere d'aiuto nel comprendere questi fenomeni, si deve sottolineare che vengono calcolati a partire da dati satellitari oppure da indagini statistiche. Il primo che bisogna nominare è il *Land Surface Temperature* (LST), il quale rappresenta la temperatura della radiazione (infrarossa) emessa dalla superficie terrestre ed è ottenuto tipicamente dall'elaborazione dei dati provenienti dal programma spaziale Landsat della NASA. Esso si stima, appunto, partendo dagli *input* satellitari e il suo valore dipende dall'albedo, dalla copertura vegetativa e dall'umidità del terreno. Questo indicatore, quindi, supporta la quantificazione del calore sensibile e influenza la suddivisione dell'energia tra suolo e vegetazione, oltre che determinare la temperatura superficiale dell'aria.

Il secondo indice valido, ovvero il *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), concerne la vegetazione e permette di determinare la densità del verde e le sue condizioni, aiutando così a comprendere lo stato della flora in una certa porzione di territorio. Ciò è possibile in quanto si basa sulla riflettività vegetale nei campi della radiazione visibile e di quella vicino all'infrarosso (rispettivamente VR: *visible red* e NIR: *near-infrared*). Infatti, l'NDVI sfrutta la capacità delle piante di riflettere queste tipologie di radiazioni; sostanzialmente una vegetazione in salute rilascia una maggiore quantità di radiazione NIR e una piccola percentuale di quella VR, mentre una più degradata ne rilascerà meno vicino all'infrarosso e una frazione maggiore dello spettro VR. Esso si calcola con la

seguente formula, in cui NIR= *near infrared radiation*, VIS= *visible red radiation*, e il suo campo di valori può andare da -1 fino a 1 (Figura 4).

$$NDVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)}$$

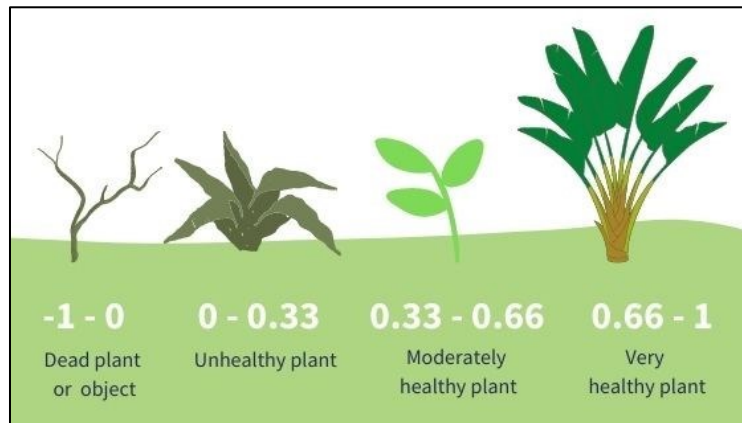


Figura 4: Formula e valori esemplificativi dell'indice NDVI, con il relativo stato floreale. (Fonte: <https://up42.com/blog/5-things-to-know-about-ndvi>)

Inoltre, quest'ultimo è correlato alle condizioni di siccità e, come il primo, si ottiene basandosi sui dati satellitari acquisiti osservando le suddette bande dello spettro elettromagnetico. Per entrambi si parla dunque di *remote sensing data* e si riporta un'immagine (Figura 5, Figura 6) al fine di comprenderli meglio.

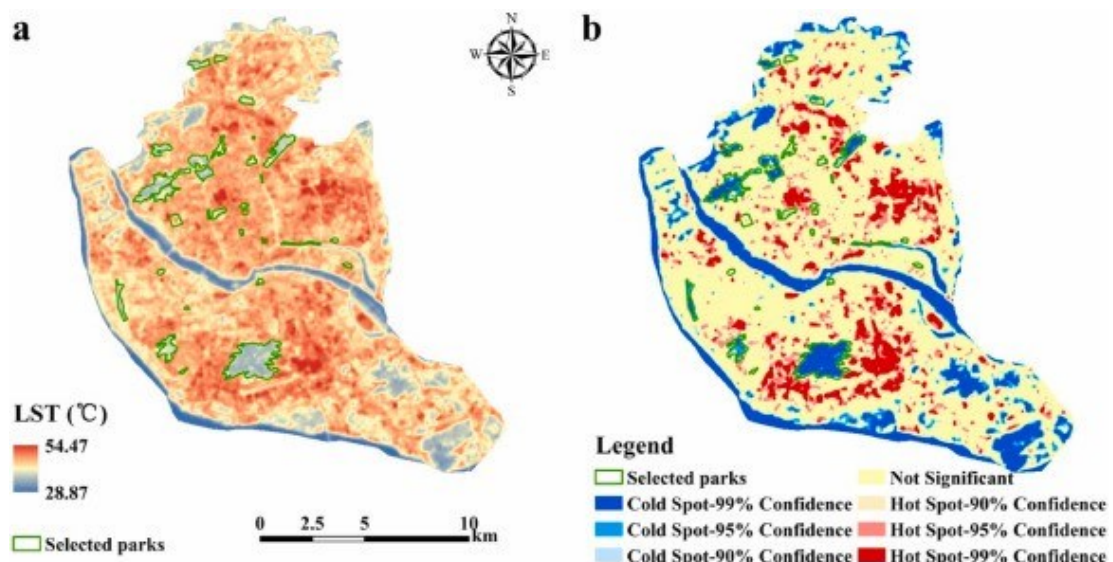


Figura 5: Esempio di indice LST per la città di Fuzhou, Cina sudorientale. (Fonte:[20])

La prima figura è stata presa da uno studio condotto a Fuzhou, in Cina, il quale si concentrava sulla pianificazione dei parchi urbani in contrasto agli effetti delle isole di calore; mentre la seconda, quella sottostante, illustra la situazione europea della vegetazione, risalente al 2005, partendo da alcuni dati ricavati attraverso sensori ottici particolari (MERIS e AVHRR) montati sui satelliti dell'agenzia spaziale europea (ESA).

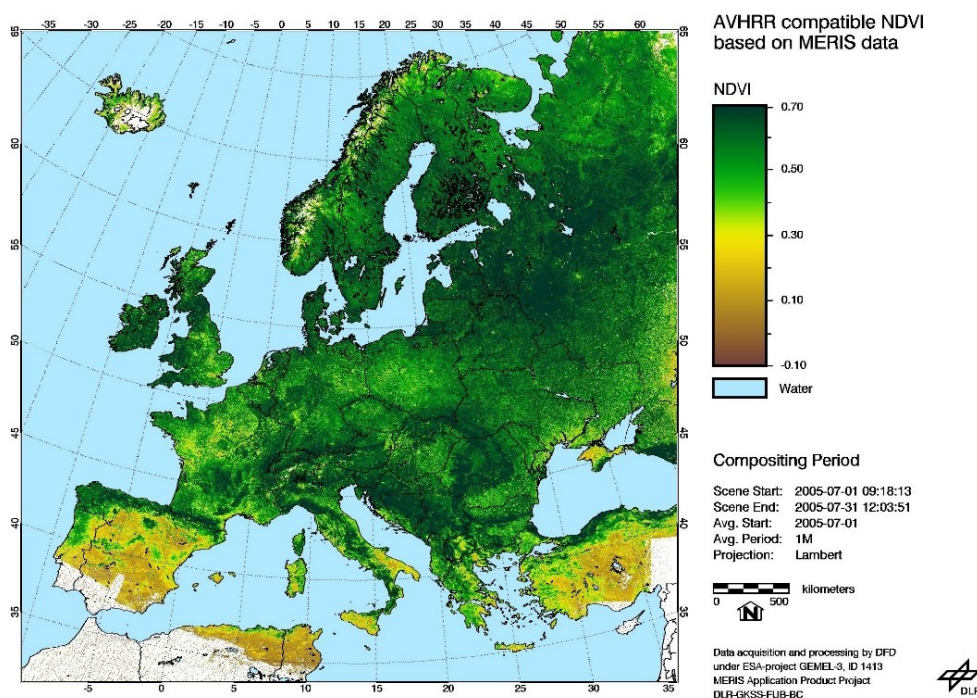


Figura 6: Esempio di NDVI a livello europeo nel mese di luglio 2005

(Fonte: ESA progetto GEMEL-3 ID 1413)

Concentrandosi sull'Italia, ulteriori indicatori si possono individuare consultando le banche dati sulla qualità dell'ambiente urbano all'interno del sito ufficiale ISPRA, ovvero l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. Si citano solo alcuni di essi, considerando che ve ne sono parecchi e che risultano validi nazionalmente. Per ognuno si consideri come tema della ricerca le infrastrutture verdi e si tenga presente che rappresentano dei valori a livello comunale.

Il primo e il più interessante è l'incidenza della superficie vegetata sull'area urbanizzata, che rende bene l'idea di quanta copertura vegetativa sia presente in città ed è espresso in termini percentuali. Per l'anno 2020 stando ai dati, i comuni che si distinguono negativamente sono quelli di Cagliari, Torino, Milano e Napoli con valori che variano tra il 28 e il 36 %. Il secondo indicatore utile da considerare è la disponibilità pro capite di verde pubblico fruibile, cioè in sostanza quanti metri quadrati di verde pubblico, per ogni

abitante, sono disponibili nel comune analizzato. I valori più recenti risalgono al 2019 e indicano una tendenza negativa di alcune città meridionali, come per esempio Catanzaro, Bari, Palermo o Campobasso, le quali dispongono di meno di 10 m<sup>2</sup> pro capite. L'eccezione in questo indice spetta a Genova, che si attesta solamente 6 m<sup>2</sup> per ogni residente, il valore minore tra i comuni presenti. Inoltre, vi sono anche le principali metropoli quali Milano, Firenze e Roma con quantità che oscillano intorno ai 18 metri quadrati. Infine, un ultimo indicatore notevole, che è collegato al consumo di suolo, quantifica la perdita di aree agricole, naturali e semi-naturali esprimendola in ettari. Qui il comune che spicca tra tutti è quello del capoluogo lombardo, dove tra il 2019 e il 2020 si sono persi oltre 130 ha di terreno.

## 2 Materiali e metodi

### 2.1 Risorse utilizzate per la ricerca

Le risorse principali utilizzate per la ricerca delle informazioni sono due: letteratura sotto forma di articoli scientifici a revisione paritaria (*peer-review*), la quale è stata consultata tramite il portale Scopus, e rapporti ufficiali di istituzioni pubbliche come i ministeri, le regioni e i comuni.

In più sono stati consultati svariati siti, anch'essi ufficiali (risorse digitali accreditate), i quali vengono riportati nella sezione finale del documento, denominata sitografia. Tra questi vi sono siti finanziati dall'Unione Europea, il sito dell'ISPRA e quello del CMCC, ovvero il Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici, che svolge attività di ricerca e collabora anche con l'IPCC.

Infine, per avere una visione chiara sul riscaldamento globale e fornire un contesto introduttivo al progetto di tesi, è stato utilizzato un libro di Luca Mercalli sull'argomento, il quale può risultare occasionalmente pesante nella lettura ma bisogna sottolineare che chiarifica bene ogni dubbio e affronta dettagliatamente il tema.

### 2.2 Dati elaborati per i risultati

All'interno del terzo capitolo sono stati citati alcuni dati provenienti da articoli scientifici e prodotti dei grafici per il caso di Roma, basati su di essi. Entrambi sono riferiti al potere raffrescante delle GBI, messe in pratica in vari casi studio oppure approfondite tramite delle simulazioni numeriche per l'ambiente e il microclima urbano. Siccome la maggior parte dei dati deriva da fonti non incluse nella bibliografia, nelle tabelle (allegate nella sezione Appendice) è stato riportato sia l'anno di pubblicazione degli studi che gli autori o il cognome del primo autore, nei casi dove ne comparivano più di due.

Sui valori estrapolati dalla letteratura scientifica, la revisione è stata condotta al fine di comprendere meglio l'effetto delle infrastrutture blu e verdi sulla temperatura dell'aria o sull'intensità delle UHI, quantificandone dunque la capacità rinfrescante sebbene, quest'ultima, dipenda fortemente dal clima tipico e dai metodi della ricerca. Si tenga presente che sono stati considerati solo articoli usciti tra il 2017 e il 2023, in quanto l'attenzione per tali temi è cresciuta esponenzialmente negli ultimi anni e le conoscenze sono in continuo aggiornamento. Le quantità in questione, inoltre, permettono di

confrontare le diverse tipologie d'intervento, rendendo più agile l'eventuale scelta nelle fasi decisionali e progettuali in base anche alla somiglianza con quelle indagate.

### 2.3 Metodologie e strumenti usati nell'analisi

Per ciò che concerne gli strumenti utilizzati all'interno del progetto si citano Microsoft Word ed Excel, per la stesura del documento e la gestione dei dati rispettivamente, i quali sono stati successivamente riorganizzati in una tabella per facilitarne la visualizzazione. Essa è completa di fonte e luogo dello studio, oltre che suddivisa in tre macro aree: soluzioni verdi, blu e grigie.

In aggiunta, è stato usato Google Earth Pro per l'individuazione e la misurazione di una zona abbandonata vicino alla stazione di Padova, la quale, a seguito di una bonifica del terreno, potrebbe ospitare una rilevante infrastruttura verde che sarà trattata e approfondita nella sezione 3.6 dei risultati. Per organizzare le fonti in un database e poi citarle, invece, è stato utilizzato il *software* "Mendeley Reference Manager", che si è rilevato intuitivo ed utile nell'elaborare la bibliografia. Esso dispone anche di un componente aggiuntivo per i programmi (*Mendeley Cite*) in modo da poter riferirsi alla giusta fonte nella fase di scrittura.

Infine, diverse funzioni di Scopus (Elsevier *Product*) sono state sfruttate per la selezione degli articoli da usare sia per le informazioni che per le metriche di raffrescamento.

A proposito, le ricerche effettuate comprendono le seguenti parole chiave in più campi: UHI, *mitigation*, *green*, *strategy*, *blue* e *cooling*.

Dopo aver trovato 61 documenti (parole: UHI, *mitigation*, *green*), sono stati ordinati secondo il numero di citazioni degli stessi, in modo da avere una visione dei più importanti, ed è stato ristretto l'intervallo temporale per il motivo suddetto. Così facendo, si sono individuati 49 articoli utili allo scopo della tesi; quelli scelti includono tutti svariate quantità sugli effetti delle strategie di mitigazione ed adattamento ai problemi trattati, in termini di riduzione della temperatura dell'aria piuttosto che di altri indicatori come il PET, cioè *Physical Equivalent Temperature*.

Altre fonti sono state ricavate in seguito usando le parole chiave in una combinazione differente. Analizzando il totale, infine, sono stati estrapolati i dati necessari alla formazione delle tabelle, le quali offrono un termine di paragone sull'effettivo potere rinfrescante delle GBI nel contesto urbano.

### 3 Risultati

I risultati del progetto, prodotto dell'approfondimento delle fonti bibliografiche e provenienti dall'analisi territoriale svolta, vengono trattati nei paragrafi successivi al fine di sostenere le soluzioni proposte per contrastare gli effetti dei cambiamenti climatici e di incoraggiare il loro utilizzo nel rendere i centri abitati più sostenibili.

#### 3.1 Infrastrutture verdi e blu in città

Affinché si raggiunga un effettivo miglioramento, bisogna promuovere un modello urbano adatto a ottenere città più sostenibili e salutari. A tale scopo, lo strumento principale è la pianificazione urbanistica che dovrebbe, in linea con gli obiettivi della ricerca, includere un sempre maggiore numero di infrastrutture blu e verdi nei centri abitati. Combinare questi due elementi rappresenta una modalità efficace per fornire delle NBSs complete ed affrontare le crescenti sfide climatiche.

Le *Green-Blue Infrastructures* sono fondamentali per la mitigazione degli effetti derivanti dal riscaldamento globale poiché diminuiscono le emissioni, collegate sia alla deforestazione che all'uso del suolo, e sono capaci di catturare anidride carbonica dall'atmosfera per poi immagazzinarla nel suolo o nell'acqua. Per quanto riguarda l'aggettivo "verde", esso fa riferimento alle zone urbane ricoperte da vegetazione; ne sono esempio parchi, orti cittadini oppure viali alberati. Mentre il "blu" si riferisce ai corpi idrici o, in ogni caso, agli ambienti acquatici presenti.

Svariate ricerche scientifiche hanno infatti dimostrato come l'uso delle GBI e il rimpiazzo delle pavimentazioni esistenti con prati e materiali consoni (*cool materials*) aumentino notevolmente il *comfort* dei residenti rispetto alle ondate di calore [18]. Per esempio, considerando i tetti verdi si può dire che rappresentano una delle soluzioni, tra tutte quelle analizzate, più promettenti poiché possiedono diversi benefici ambientali. In pratica, attraverso vari meccanismi fisici, sono in grado di diminuire le fluttuazioni termiche degli edifici su cui si trovano, contribuendo ad un minore consumo di energia e contenendo, di conseguenza, gli effetti dell'urbanizzazione [5]. Le GBI, dunque, costituiscono un'ottima strategia di adattamento al cambiamento climatico e alle sue conseguenze nelle città.

Allora, in questo ambito le parole chiave sono riqualificazione e rigenerazione urbana, utilizzando queste infrastrutture non solo in modo estetico ma anche funzionale: con la creazione di corridoi verdi, giardini comunitari oppure spazi pubblici pensati per

attività sociali e culturali, come eventi musicali, si andrebbe di fatto a migliorare la qualità di vita dei residenti oltre che quella dell'ambiente stesso. La figura seguente (Figura 7) mostra alcuni benefici delle GBI, di notevole importanza per i cittadini e la loro salute.



Figura 7: Benefici provenienti da spazi blu e verdi nel contesto urbano. (Fonte: EEA pubblicazioni\_who-benefits-from-nature-in)

Per affrontare svariati problemi, legati al riscaldamento globale in corso, bisogna ricorrere alle soluzioni espone nella ricerca che potrebbero contribuire effettivamente a migliorare la situazione attuale. In sostanza si deve assicurare una maggiore copertura di verde pubblico e ripristinare o ricreare gli ecosistemi acquatici delle città, i quali sono sempre stati vitali fin dall'antichità per il loro sviluppo e il benessere degli abitanti.

Per ciò che concerne l'infrastruttura verde, si riportano le principali categorie d'intervento nell'elenco seguente e si analizzano i loro benefici:

- parchi cittadini;
- orti e frutteti urbani;
- tetti e pareti verdi;
- forestazione urbana e periurbana;
- barriere alberate;
- schermature solari e strutture ombreggianti.



Come già visto, i parchi giocano un ruolo fondamentale in questa partita, influenzando anche le zone esterne ad essi; la loro efficienza nel raffreddamento dipende da diversi fattori, tra cui l'estensione del parco stesso e lo stato della vegetazione, rappresentato bene dal NDVI. Anche la densità delle chiome e le specie di alberi impiegate risultano importanti nel determinare l'effetto rinfrescante. Ad esempio, in uno studio condotto su 21 aree verdi della capitale etiopica, si è rilevato un effetto medio di raffreddamento pari a quasi quattro gradi centigradi. I ricercatori hanno anche osservato un contrasto termico maggiore tra i parchi e le zone circostanti, aumentando la loro area oppure la densità del verde [8]. Generalmente poi, bisogna sottolineare che i parchi forniscono numerosi servizi eco-sistemici, alleviano gli effetti delle UHI e, contemporaneamente, costituiscono degli spazi pubblici piacevoli per i residenti [20].

Riguardo agli orti urbani, ovvero delle aree verdi adibite alla coltivazione di vari ortaggi, si può dire che rappresentano un'ottima soluzione per aumentare la percentuale di verde cittadino e la qualità della vita. Infatti, essi danno la possibilità ai residenti di coltivare prodotti locali e di qualità, eliminando il loro trasporto (chilometro zero), e vengono tipicamente gestiti dai cittadini stessi oppure da alcune associazioni. In più la concessione di questi spazi predilige le categorie di persone più deboli come, per esempio, disabili o residenti a basso reddito; gli orti cittadini, dunque, offrono dei benefici sia sociali che ambientali.

Per quanto riguarda i giardini verticali invece, essi rappresentano un'alternativa innovativa in mancanza di superficie potenzialmente occupabile dal verde. Quindi sono ottimi in quelle città che hanno un tasso elevato di consumo di suolo, poiché non vanno a sottrarre ulteriore area dell'agglomerato ma si sviluppano appunto sulle facciate degli edifici. Uno degli esempi cardine di questa soluzione è il "bosco verticale" a Milano, creato dall'architetto Stefano Boeri e dal suo studio nel 2014. La foresta verticale che circonda l'edificio offre un habitat a diverse specie di uccelli e riesce a catturare circa 30 tonnellate di CO<sub>2</sub> all'anno, oltre che diminuire l'energia assorbita schermando le radiazioni solari agenti sulle pareti.

Esaminando i tetti verdi, bisogna ammettere che sono un ottimo metodo per ridurre gli effetti delle isole di calore e allo stesso tempo aumentare l'efficienza energetica degli edifici [13]. In sostanza sfruttano il meccanismo dell'evapotraspirazione consumando calore latente e contribuiscono a limitare le fluttuazioni termiche delle superfici, interne

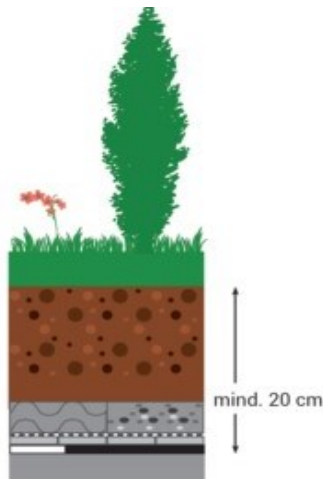


Figura 8: Sezione di tetto verde intensivo.

(Fonte: <https://efb-greenroof.eu/>)

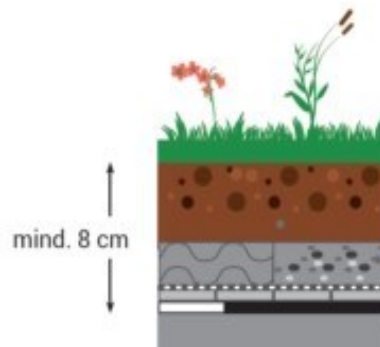


Figura 9: Sezione di tetto verde estensivo.

(Fonte: <https://efb-greenroof.eu/>)

ed esterne, diminuendo così il consumo energetico associato al mantenimento della temperatura [13]. In più, come la categoria precedente, proteggono la biodiversità fornendo degli ambienti urbani insoliti ed abbassano la quantità totale di calore assorbito dalla struttura.

Vi sono di base due tipologie: i tetti verdi estensivi e quelli intensivi; essi differiscono principalmente per la vegetazione presente e l'altezza del substrato su cui poggiano. I primi (Figura 9), ovvero quelli estensivi, sono caratterizzati da un terreno spesso circa 8 cm e necessitano di una manutenzione minima, oltre che avere un costo minore.

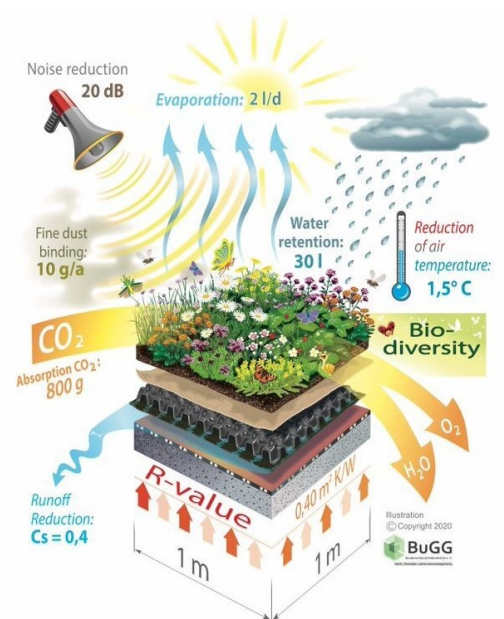


Figura 10: Benefici con valori numerici per ogni metro quadrato di tetto verde. (Fonte: <https://efb-greenroof.eu/green-roof-basics/>)

I tetti verdi intensivi (Figura 8) dispongono invece di un maggiore potenziale rispetto al microclima urbano e alla biodiversità, e si basano su substrati di almeno 20 cm però costituiscono dei sistemi più complessi che richiedono regolare cura, con costi elevati.

I benefici delle ultime due categorie di NBSs comprendono la diminuzione delle UHI, la protezione della biodiversità, il miglioramento della qualità dell'aria ed altre importanti funzioni come l'isolamento acustico (Figura 10). In particolare, al contrario di quelli comuni, i tetti verdi riescono a controllare meglio il deflusso dell'acqua durante gli eventi di pioggia, immagazzinandola e riducendone il flusso [9].

Per ciò, rappresentano bene il concetto di *sustainable urban drainage system* (SUDS), il quale è fondamentale per contenere il rischio di alluvioni in città.



Figura 11: Esempio di copertura verde (estensiva) in un quartiere residenziale di Vienna, Austria. (Fonte: <https://efb-greenroof.eu/work/extensive-green-roof-austria/>)

Infine, i vantaggi degli alberi in città sono numerosi a partire dal fatto che forniscono un rifugio ai residenti dall'irraggiamento solare sotto le loro chiome. In generale, essi sono i mattoni principali per interventi quali le barriere alberate o la forestazione urbana e quindi compaiono in molteplici categorie, sfruttando la loro grande capacità di adattamento ai contesti più disparati. In particolare, secondo l'*International Union for Conservation of Nature* (IUCN), gli alberi sono degli elementi cruciali per naturalizzare nuovamente le città e produrre diversi benefici sociali e ambientali. Ad esempio, come già affermato, sono in grado di abbassare sensibilmente la temperatura dell'aria e ridurre

sia l'inquinamento atmosferico che quello acustico. Riguardo alla forestazione, in dettaglio, si può dire che comprende tutte le iniziative accomunate dall'utilizzo di vegetazione su suolo permeabile. Ciò permetterebbe non solo di migliorare l'ambiente cittadino ma anche di fornire dei servizi eco-sistemici importanti, quali la termoregolazione e il drenaggio urbano [9]. Allora, questa categoria di intervento può interessare aree verdi già esistenti oppure spazi destinati ad altri usi, giustamente riqualificati. In più presenta molti vantaggi sociali, economici e ambientali; tra essi si citano il miglioramento della salute e del benessere psico-fisico dei residenti, la riduzione degli impatti derivanti dagli eventi estremi e il contenimento dell'inquinamento atmosferico, poiché banalmente gli alberi assorbono CO<sub>2</sub> ed altre sostanze pericolose come il particolato [9].

Per ciò che concerne le barriere ombreggianti (alberate), si possono utilizzare diverse tipologie di vegetazione, combinate tra loro e disposte solitamente in fila, in modo da creare zone d'ombra mirate a contenere le temperature elevate degli ambienti interni ed esterni. Oltre che rallentare l'acqua che giunge al suolo, le protezioni in questione mitigano gli effetti delle ondate di calore attraverso l'evapotraspirazione e lo schermo dato dalle chiome, riducendo così i rischi legati a tali eventi e la vulnerabilità cittadina. Esse possono essere realizzate in prossimità di edifici pubblici oppure nelle piazze e nei parcheggi, dove di solito prevalgono materiali svantaggiosi [9].

Un intervento simile a quello appena descritto sono le strutture ombreggianti, che consistono in moduli di materiali molto riflettenti (alta albedo), i quali sono finalizzati a schermare l'energia proveniente dai raggi del sole, comportando così un minore riscaldamento e stress termico nella zona. Invece le schermature solari hanno sempre l'obiettivo di filtrare o bloccare il calore ma sono installate parallelamente alle facciate degli edifici o anche al loro interno, sugli infissi. Proteggendo dunque l'ambiente dall'irraggiamento, esse possono diminuire sensibilmente il consumo energetico associato al mantenimento del *comfort* termico [9].

Alla fine, vi è una categoria interessante che sfrutta i meccanismi di trasmissione del calore e l'aria per migliorare le prestazioni delle strutture sia in estate che in inverno. Essa si concentra sui tetti e sulle pareti degli edifici, che vengono denominati ventilati, e sostanzialmente prevede la creazione di un'intercapedine sia per le facciate che per le coperture, in cui si innesca un moto convettivo dell'aria (dato dalla differenza di

temperatura). Quest'ultimo elimina il calore in eccesso, durante la stagione estiva, e riduce i problemi legati alla condensa durante quella invernale [9].

Per quanto riguarda il blu pubblico bisogna sottolineare che questa tipologia infrastrutturale si concentra maggiormente sugli effetti delle precipitazioni intense e della siccità ma, in ogni caso, risulta d'aiuto nel rendere i centri abitati più sostenibili poiché favorisce la rigenerazione urbana e riduce lo sfruttamento delle risorse idriche sia superficiali che sotterranee [9]. Al suo interno vi sono le vasche di laminazione e i sistemi di raccolta delle acque meteoriche, le quali vengono depurate e successivamente riutilizzate per usi non potabili. Focalizzandosi sulle vasche di laminazione, bisogna dire che sono delle opere idrauliche mirate a gestire il flusso delle acque di pioggia e a prevenire le inondazioni. Esse sono progettate con una determinata capacità di immagazzinamento, valutata su basi idrologiche, e sono dotate di organi, come valvole o paratoie, che regolano il flusso idrico. In sostanza raccolgono l'acqua che scorre sulle superfici impermeabili durante le precipitazioni abbondanti e la restituiscono in modo graduale per evitare picchi di piena, con conseguenti alluvioni [9].

Riguardo alla restante categoria d'intervento, essi sono dei complessi pensati per catturare l'acqua insistente sulle strutture e sulle superfici (permeabili e non) cittadine, per poi conservarla in serbatoi specifici. Questa risorsa idrica viene successivamente usata per scopi non potabili come, ad esempio, l'irrigazione pubblica. Pertanto, l'obiettivo principale di questi sistemi è massimizzare l'utilizzo delle risorse idriche disponibili, soprattutto nei periodi siccitosi, e promuovere una gestione migliore delle acque [9].

Infine, gli specchi d'acqua comportano un minore assorbimento di calore in città e un maggiore consumo di quello urbano sensibile, possedendo un'alta capacità riflettente e sfruttando l'evaporazione idrica, la quale ne impiega un'ingente quantità e costituisce il mezzo tramite cui si genera un flusso di calore latente [14].

Approfondendo l'argomento, si può individuare un ulteriore categoria di infrastruttura utile a restituire suolo consumato alla cittadinanza e a combattere sia le isole di calore che gli allagamenti urbani. Quest'ultima comprende i cosiddetti interventi *grey*, i quali hanno in comune il ripristino della permeabilità del suolo o sono volti, in ogni caso, all'utilizzo di SUDS. Ne sono esempio le piazze d'acqua, i giardini della pioggia e le pavimentazioni drenanti. Nel dettaglio, tutte riducono il rischio di allagamenti urbani e, in particolare, le ultime consistono in superfici che permettono l'infiltrazione e il



deflusso dell'acqua piovana. Esse sono realizzate con materiali porosi o permeabili, i quali favoriscono il drenaggio idrico nel terreno, e vengono spesso integrate con aiuole e alberi per combattere le piogge più intense. La porosità di queste coperture varia tra il 15% e il 25% del volume, garantendo lo scolo di 1000 litri al minuto, per ogni metro quadrato [9]. Si riportano alcune immagini (Figura 12, Figura 13, Figura 14) degli interventi descritti.

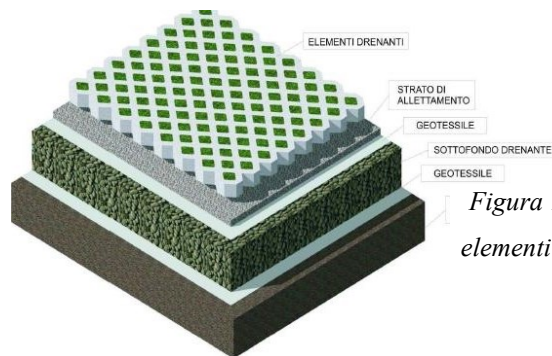


Figura 12: Schema di pavimentazione drenante con elementi costitutivi. (Fonte: <https://www.infobuild.it/>)

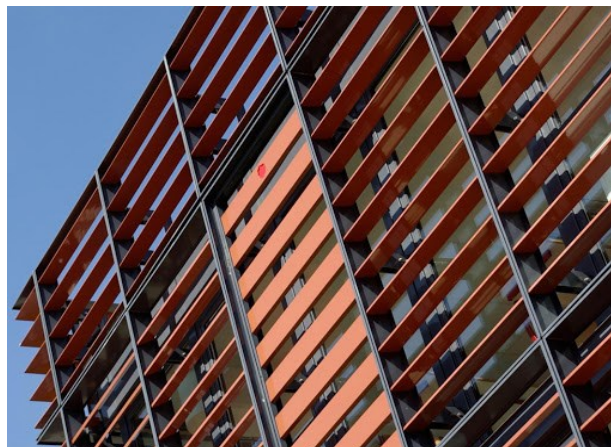


Figura 13: Esempio di schermatura solare.  
(Fonte: <https://www.infobuild.it/>)

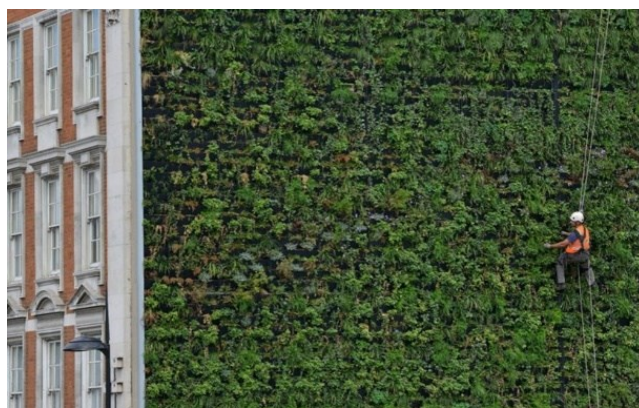


Figura 14: Esempio di parete verde a Londra. (Fonte: <https://www.teknoring.com/news/progettazione/la-piu-grande-parete-verde-di-londra-10-000-piante-su-350-metri-quadrati/>)

### 3.2 L'importanza della copertura del suolo e dei materiali utilizzati

Nei centri abitati le superfici, soprattutto quelle artificiali (asfalto o calcestruzzo), assorbono una significativa quantità della radiazione solare. Di questa, la metà circa viene poi trasferita all'aria tramite la convezione del calore, portando a temperature maggiori date dal rilascio di radiazione infrarossa [1]. Riguardo a ciò, temperature ambientali più elevate comportano anche un'accelerazione delle reazioni fotochimiche che generano lo smog, peggiorando quindi la qualità dell'aria.

Inoltre, immaginando una costruzione qualsiasi, parte dell'irraggiamento assorbito dal tetto e dalle pareti viene successivamente condotto nell'edificio, generando anche un consumo maggiore di aria condizionata [1]. Perciò risulta importante mantenere le superfici urbane più fresche attraverso l'utilizzo di materiali adatti a fronteggiare questo aspetto, anche perché le coperture urbane contribuiscono notevolmente allo sviluppo delle UHI [17]. Rifacendosi alla prima categoria d'intervento per le isole di calore (esposta nella sezione 1.4) e considerando quanto appena detto, si sottolinea l'importanza di usare materiali consoni, ovvero con alta riflettività ed emittenza termica, in modo da mantenere le superfici più fredde [17]. Questi materiali, noti come *cool materials*, possono esser utilizzati nelle facciate degli edifici o nelle pavimentazioni; in sostanza diminuiscono la temperatura superficiale delle aree urbane e minimizzano la corrispondente quantità di calore sensibile rilasciato in atmosfera, contribuendo ad un minore riscaldamento cittadino [1]. Infatti, molti studi hanno dimostrato come l'adozione di queste tecnologie, in campo costruttivo, abbia impatti notevoli sulla riduzione delle UHI. Per esempio, Peron et al (2015) dimostra come la temperatura a terra possa diminuire di quattro gradi Celsius in una porzione della città di Mestre (comune di Venezia), usando determinati materiali e superfici verdi permeabili al posto di tetti e pavimentazioni vecchie [3]. Un'ulteriore prova è fornita da un altro studio, condotto tre anni fa dai ricercatori dell'università Roma Tre su una zona rinnovata del campus. Da esso si evince che l'avvenimento delle isole di calore è dovuto a caratteristiche intrinseche dell'area, come la pavimentazione scelta, oltre che a fattori esterni meteo-climatici [2]. Dai risultati ottenuti i ricercatori, dopo aver individuato un indice medio per una giornata pari a 1,14 °C, con un picco d'intensità della UHI (confronto con area verde circostante) uguale a quasi sei gradi Celsius, hanno dimostrato tramite una simulazione numerica come le strategie previste dai vari scenari riducessero effettivamente il surriscaldamento

localizzato. Un aspetto curioso, ad esempio, consiste nel fatto che un prato al posto di rivestimenti anche consoni, possa portare una maggiore riduzione della temperatura dell'aria durante il giorno con un massimo raggiungibile verso sera [2]. A proposito dell'intensità per le isole di calore urbano (UHII), si riporta la formula generale con cui viene calcolato questo indicatore, in cui  $T_{Ua}$  corrisponde alla temperatura dell'aria in ambiente urbano (riferimento: livello del suolo, a pochi metri da esso) e  $T_{Ra}$  a quella in ambiente rurale, scelto come oggetto del confronto [3].

$$UHII = \text{daily\_maximum}(T_{Ua} - T_{Ra})$$

Allora, nelle fasi progettuali di una riqualificazione urbana si devono attuare delle scelte attente sia per gli edifici che per le zone esterne poiché risultano fondamentali nell'incidenza delle isole di calore e non solo [3]. Si consiglia l'implementazione delle GBI e il dispiego di NBSs, in quanto cruciali nella mitigazione dell'UHII [7]. Riguardo alle modalità tecniche o ai materiali più consoni in tale ambito, si citano solo le classi principali di copertura, effettuandone una breve descrizione ma tenendo presente che la questione risulta di vitale importanza nel combattere le isole di calore [17]:

- pavimentazione riflettente;
- copertura permeabile.

Per quanto concerne la prima, incrementare l'albedo significa diminuire sia la sua temperatura superficiale (meno calore sensibile) che il bisogno di illuminazione notturna e, allo stesso tempo, aumentare la durabilità del materiale. A tale scopo si possono impiegare delle vernici bianche, con un'albedo superiore a 0,8 oppure con dei pigmenti che riflettano le radiazioni infrarosse (IR) [17]. Per ciò che riguarda la seconda categoria, bisogna dire che detiene una percentuale maggiore di vuoti rispetto a quella convenzionale in modo da permettere un'infiltrazione idrica migliore nel terreno, riducendo così il rischio di inondazione. L'evaporazione dell'acqua, contenuta al suo interno, produce un duplice effetto: da un lato diminuisce la temperatura superficiale della copertura e dall'altro contribuisce all'attenuazione dell'isola di calore. In conclusione, si può migliorare l'impatto delle pavimentazioni sulle UHI, aumentandone le *performance* termiche con l'obiettivo di ridurre il flusso di calore sensibile da esse rilasciato in atmosfera [17].



Si riporta di seguito uno schema (Figura 15), preso sempre dalla ricerca del 2016 [1], la quale riassume bene i concetti esposti fino ad ora ed illustra delle strategie per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici in città.

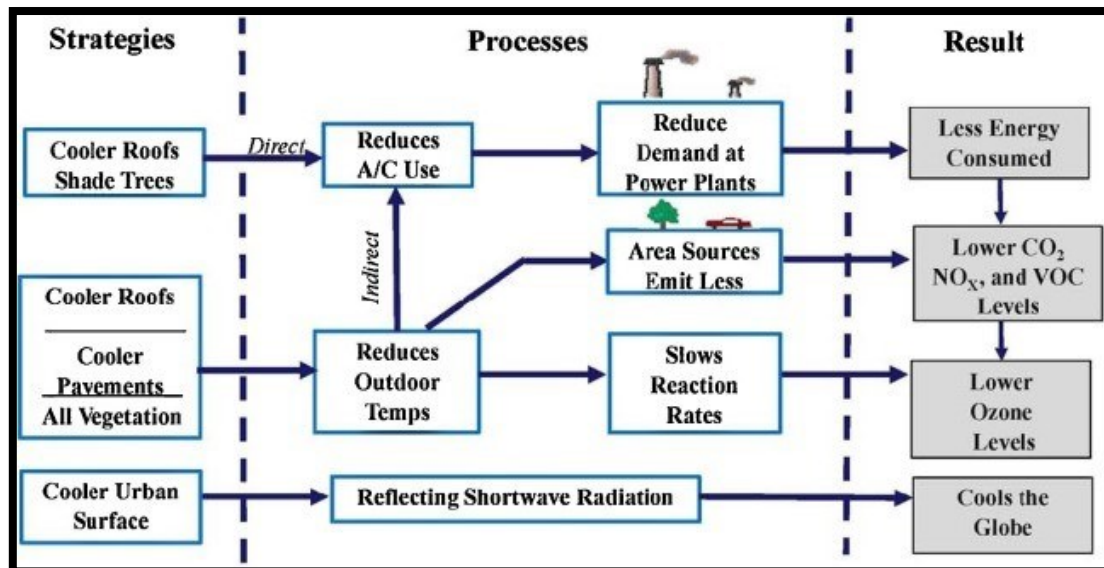


Figura 15: Strategie efficaci di mitigazione ed adattamento in ambiente urbano. (Fonte: [1])

### 3.3 Casi studio nazionali

Nella sezione in questione vengono scelte due delle maggiori metropoli italiane, Roma e Milano, e viene condotta un'analisi della situazione locale, approfondendo in seguito un paio di progetti di mitigazione e adattamento per ogni città; così facendo si forniscono degli esempi nazionali di strategie messe in pratica per contrastare le conseguenze delle ondate ed isole di calore. Si rimarca che le informazioni seguenti sono state prese dai rapporti specifici del CMCC, eseguiti per le principali metropoli italiane.

Per ciò che concerne Roma, bisogna considerare che si tratta di una città storica, la quale utilizza tegole di terracotta per i tetti, come la maggioranza dei centri urbani italiani, ed è ricca sia di vicoli stretti che di strutture alte, in cui il calore rimane intrappolato più facilmente [5]. In questi casi ma anche nelle strade più ampie si parla di *urban canyoning*, dove appunto il calore radiante (*longwave radiation*) dalle superfici viene catturato dalle pareti degli edifici e tende a rimanere concentrato, faticando a disperdersi. Ciò amplifica gli effetti delle UHI causando un maggiore stress termico nell'area [12]. La capitale italiana presenta molte coperture impermeabili, circa la totalità del suolo consumato che si attesta al 23%, attenendosi al rapporto ISPRA del 2023. Per ciò e siccome sono stati

individuati più studi su Roma, è stata scelta come luogo per il confronto del potere raffrescante di differenti GBI utilizzate in tale contesto.

Si riportano due grafici (Figura 16, Figura 17) riferiti al periodo 1989-2020, nei quali si osservano delle caratteristiche climatiche incentrate sulla temperatura. In dettaglio vi sono le seguenti classi, rappresentanti una percentuale di giorni mensili oppure annuali.

- Giorni freddi (*frost days*, FD): numero di giorni in cui la temperatura scende sotto 0 °C;
- Giorni molto caldi (*summer days*, SD): numero di giorni con temperatura massima giornaliera che supera i 25 °C;
- Notti calde (*tropical nights*, TN): numero di giorni con temperatura minima maggiore di 20 °C.

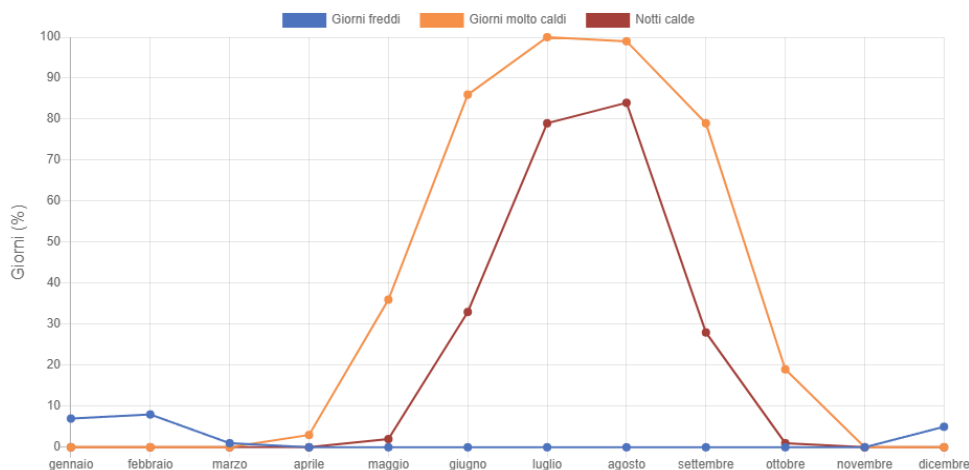


Figura 16: percentuale di giorni al mese per gli indicatori descritti (FD, SD, TN) della città di Roma. (Fonte: <https://www.cmcc.it/it/report-roma>)

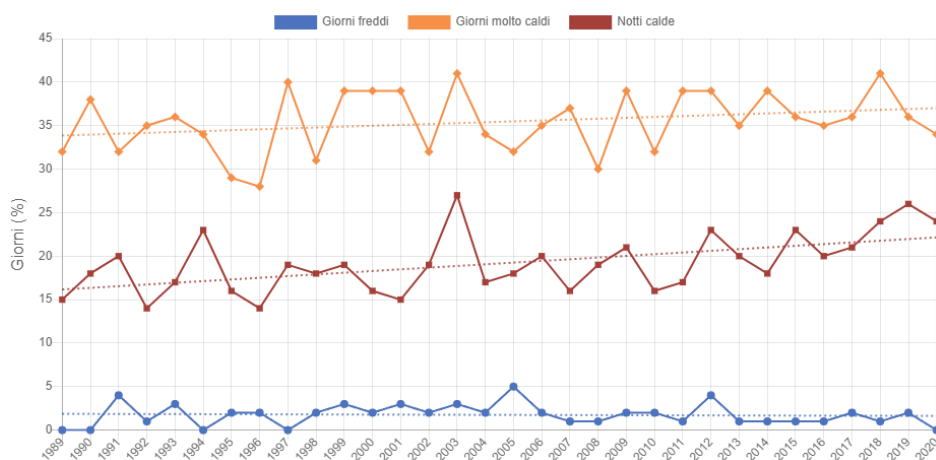


Figura 17: percentuale di giorni all'anno per gli indicatori descritti (FD, SD, TN) su Roma. (Fonte: <https://www.cmcc.it/it/report-roma>)

Stando al rapporto di analisi del rischio, elaborato nel 2021 dal CMCC, Roma appare particolarmente vulnerabile alle conseguenze delle ondate di calore e delle precipitazioni estreme. Ad esempio, la temperatura media del centro abitato è aumentata di 3,6 °C rispetto alla media 1971-2000. Perciò il comune ha aderito al Patto dei Sindaci (2017), il quale mira a ridurre le emissioni di almeno il 40% entro il 2030, e anche al C40, ovvero il network mondiale delle città per la lotta ai cambiamenti climatici.

Analizzando alcune azioni intraprese si cita l'adozione del Piano di Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima (PAESC), il quale ha diversi obiettivi tra cui quello di migliorare la resilienza dell'ecosistema urbano rispetto ai suddetti fenomeni. Un'iniziativa interessante, indicata dal Piano come strategia utile, è il progetto chiamato "Ru:rban" che consiste nell'organizzazione di orti cittadini e nella formazione dei residenti per la gestione degli stessi, in modo da contrastare l'incremento termico e i periodi siccitosi.

Concentrandosi sul caso di Milano, trattandosi di una grande metropoli, si sottolinea la tendenza ad un riscaldamento non indifferente e a maggiori impatti, legati sempre alle ondate di calore e agli eventi di precipitazione intensa. Essi rendono la città e i suoi residenti più esposti agli effetti delle variazioni climatiche, secondo l'EEA. Infatti, affidandosi a un report di Legambiente, il capoluogo lombardo ha sperimentato uno tra i più elevati numeri di eventi calamitosi a livello nazionale, tra il 2010 e il 2020. Un altro dato rappresentativo della crescente vulnerabilità, consiste nel fatto che dagli anni Settanta in poi, il 46% delle ondate di calore si sia verificato durante il decennio passato.

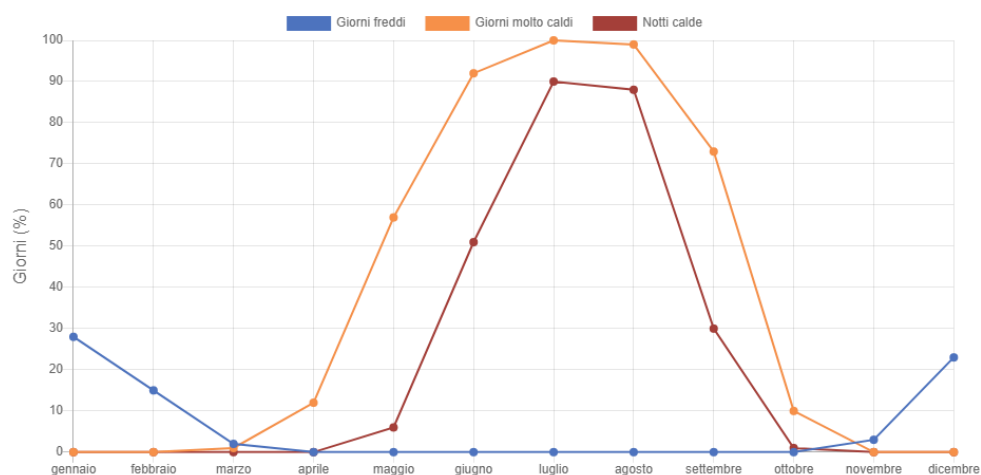


Figura 18: percentuale di giorni mensili della città di Milano per gli indicatori descritti (FD, SD, TN). (Fonte: <https://www.cmcc.it/it/report-milano>)

Come nel caso precedente e con i medesimi riferimenti (classi e periodo 1989-2020), si riprendono i grafici (Figura 18, Figura 19) significativi per la temperatura urbana di

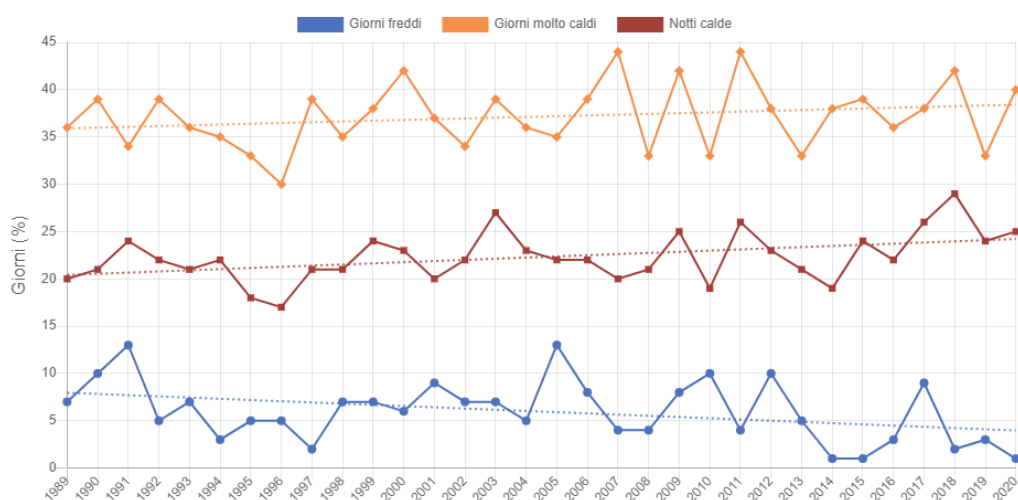


Figura 19: percentuale di giorni all'anno per gli indicatori descritti (FD, SD, TN) del comune di Milano. (Fonte: <https://www.cmcc.it/it/report-milano>)

Milano osservando dal secondo (Figura 19) come i FD mostrino una riduzione in tale arco temporale al contrario degli altri due (SD e TN), che seguono una linea di tendenza positiva.

Di conseguenza, la città fa parte anch'essa del C40 e del Patto dei Sindaci (2018), oltre che possedere sia un Piano Aria e Clima che un Piano di Governo del Territorio (PGT), i quali sono stati approvati nel 2019. Entrambi gli strumenti urbanistici delineano all'interno delle proprie azioni di adattamento, l'implementazione e l'accrescimento delle GBI (tetti verdi, forestazione urbana, etc.). Ciò sostiene l'importanza e l'efficacia delle soluzioni analizzate per fronteggiare le problematiche in questione.

Un esempio virtuoso di strategia di adattamento è il progetto denominato "Forestami", che detiene svariati obiettivi come, per esempio, connettere le aree verdi esistenti e aumentarle, piantando in tutta l'area metropolitana tre milioni di nuovi alberi entro il 2030. Il fattore climatico a cui mira è proprio la diminuzione delle conseguenze delle UHI in quanto gli alberi costituiscono uno tra i migliori alleati nell'adeguamento urbano da compiere, anche se il loro effetto positivo varia a seconda dell'ubicazione nell'ambiente e della specie piantumata [12].

Tornando al caso di Roma e considerando tre articoli a scala locale sulla città, si sono prodotti dei grafici comparativi, derivati dai loro dati, confrontando così il potenziale rinfrescante delle soluzioni o degli scenari di mitigazione impiegati. Sebbene le condizioni di partenza possano variare anche all'interno della capitale, avendo lo stesso clima tipico tale paragone permette di avere una visione migliore sull'effettivo

raffrescamento offerto dalle NBSs impiegate, in termini di riduzione della temperatura dell'aria ( $T_a$ ). Infatti i grafici seguenti, rappresentato proprio il potere raffrescante di tali soluzioni, suddiviso per classi (tipologia di GBI) ed espresso come differenza di  $T_a$  media e massima rispetto ai riferimenti specifici degli studi, quali stazioni meteorologiche oppure circostanze correnti per i luoghi considerati. Si riportano due grafici sia per la differenza media che per quella massima, in modo da visualizzare i migliori interventi messi in pratica realmente o tramite simulazioni eseguite con il *software* ENVI-met.

Come si può notare dalle figure sottostanti (Figura 20, Figura 21, Figura 22, Figura 23), le soluzioni che possiedono la maggiore efficacia (diminuzione di  $T_a$ ) sono l'impiego di un prato al posto di una classica pavimentazione nella zona centrale di piazza Mazzini e la combinazione di più interventi in un'area (piazza Mirtili) del quartiere Centocelle, quali una pavimentazione riflettente, uno specchio d'acqua e l'incremento degli alberi esistenti. Nel dettaglio questi interventi riescono a ridurre la temperatura dell'aria fino ad un massimo di 2,6 °C e 1,9 °C rispettivamente, diminuendo quindi lo stress termico presente.

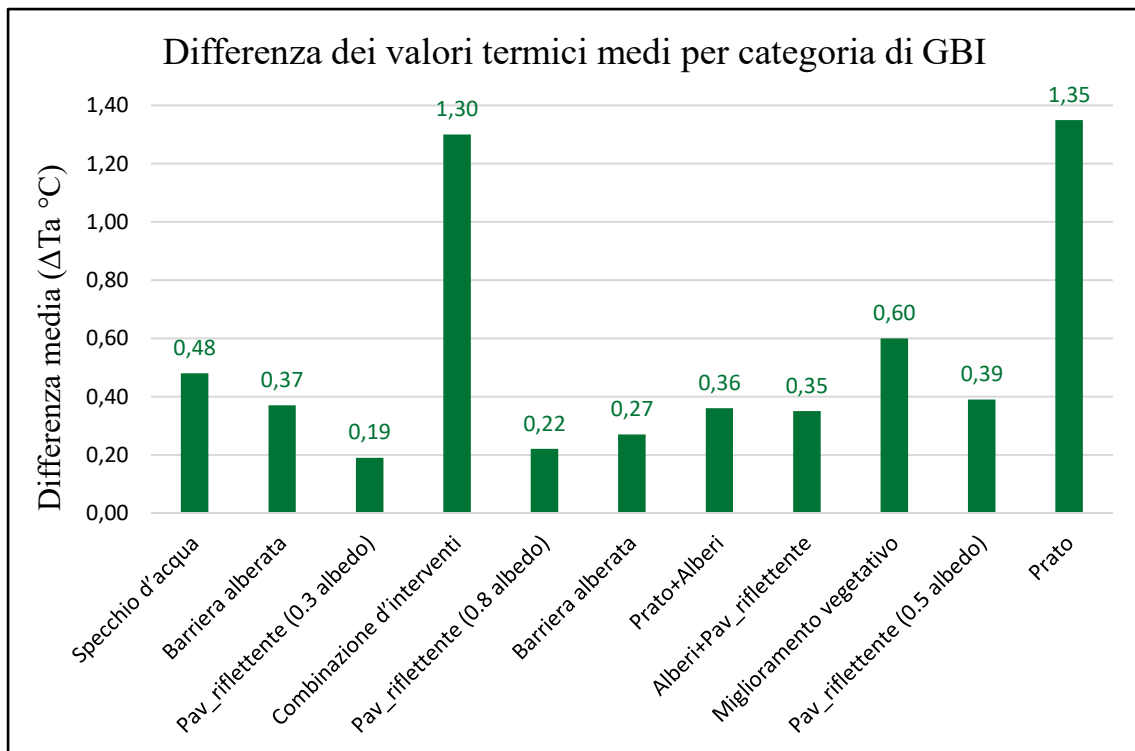


Figura 20: Differenza di temperatura dell'aria media ( $\Delta T_a$ \_mean) per ogni soluzione considerata.

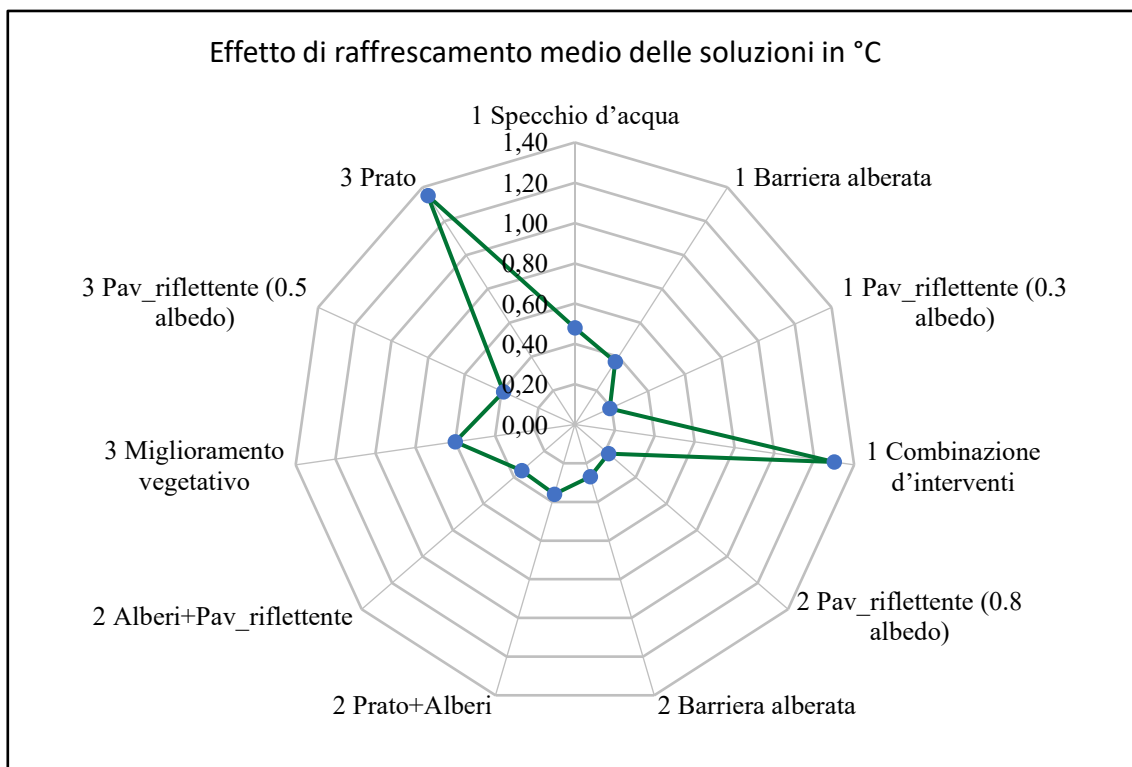


Figura 21: Effetto di raffreddamento medio, espresso in gradi Celsius, per categoria di GBI impiegata.

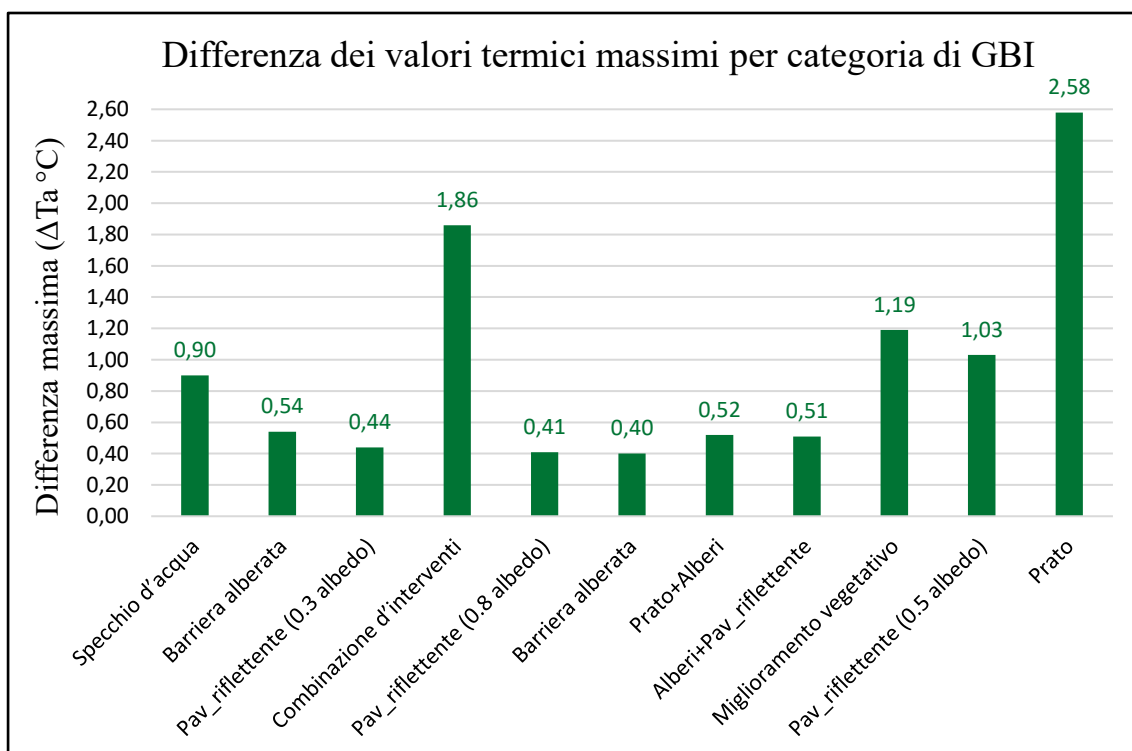


Figura 22: Differenza di temperatura dell'aria massima ( $\Delta T_{a\_max}$ ) per ogni soluzione considerata.

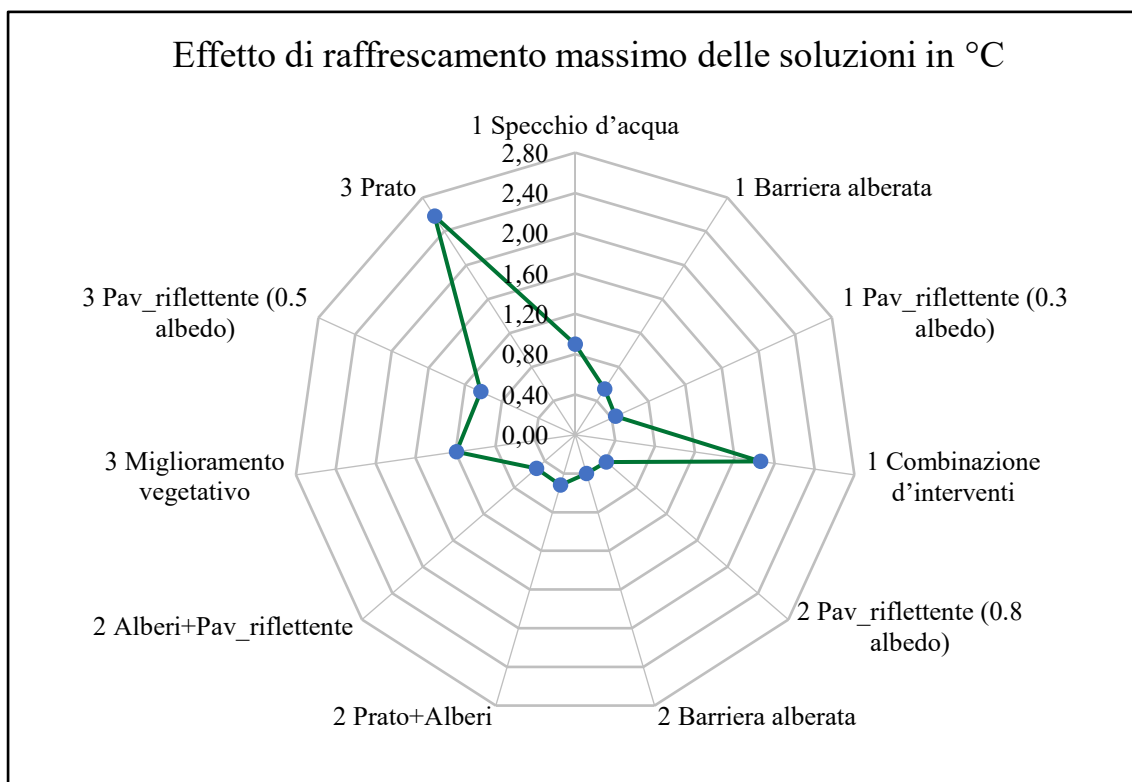


Figura 23: Effetto di raffreddamento massimo, espresso in gradi Celsius, per categoria di GBI impiegata.

### 3.4 Green and blue infrastructures: esempi virtuosi in Europa

Nella città di Barcellona, la quale è composta da isolati esagonali chiamati singolarmente “Manzana” (*block*), si sta mettendo in pratica un nuovo modo di organizzare il contesto urbano, il quale risulta interessante e d’ispirazione verso il raggiungimento di uno sviluppo cittadino più sostenibile e conservativo per i residenti. Sostanzialmente, visto che la struttura urbana è densa e compatta, si mira alla redistribuzione degli spazi pubblici fra i blocchi a favore di funzioni diverse da quelle tradizionali (transito di veicoli), per sopperire alla mancanza di aree verdi. Ciò che ne deriva sono delle nuove unità chiamate “Superblocks” o “Superilles”, le quali sono prive di automobili e più grandi di un isolato ma, al contempo, più piccole di un quartiere (Figura 25). Tale strategia urbanistica fa parte di un’ampia logica adottata dall’amministrazione pubblica e dovrebbe estendere gli spazi cittadini di oltre 23 ettari, in modo da migliorare l’ambiente urbano e renderlo più vivibile. In alcuni quartieri (Les Corts, Poblenou, etc.) il programma è già stato implementato mentre in altri (es: Horta) è in corso d’opera e promette buoni risultati. In modo da raggiungere alcuni traguardi, il Piano Urbano della Mobilità (UMP) che è connesso ai Superblocks, risulta centrale nella

riduzione dell'uso privato di auto e motorini in città (meno 21%), con una conseguente diminuzione dell'emissioni di CO<sub>2</sub> legate al traffico.

A Parigi, all'interno del 17° *arrondissement*, vi è un esempio di sviluppo urbano sostenibile merito di attenzione: si tratta di un progetto ambizioso, terminato recentemente e chiamato "Clichy-Batignolles", il quale ha realizzato un eco-distretto all'avanguardia urbanistica (Figura 24). L'iniziativa è stata lanciata ancora nel 2002 dal comune della città e prevedeva la riqualificazione di una zona fortemente segnata dalle infrastrutture dei trasporti (ferroviarie). Quest'ultima si è trasformata in un quartiere esteso su 54 ettari totali, completo da molti punti di vista tanto che i residenti vi possono lavorare e vivere senza particolari difficoltà [4]. L'area si sviluppa intorno a un parco di dieci ettari (*Martin Luther King Park*) che, oltre ad essere un eccezionale connubio tra estetica e funzionalità, è diventato il luogo ricreativo e d'incontro del distretto. Si definisce virtuoso poiché comprende moltissimi benefici sia sociali che ambientali e attua delle azioni strategiche, le quali includono la produzione di energia rinnovabile (geotermica e solare), la promozione della biodiversità e una gestione accurata delle acque e dei rifiuti. Ad esempio l'energia geotermica permette l'utilizzo di fonti rinnovabili per l'85% nella produzione del calore (riscaldamento e acqua domestica) necessario oppure i pannelli fotovoltaici coprono il 40% della domanda elettrica degli edifici, ricoprendo circa 35.000 metri quadrati e producendo quasi 3.500 MWh all'anno [4].

Per quanto riguarda l'adattamento ai cambiamenti climatici, l'eco-distretto è stato progettato in modo da prevenire le isole di calore urbano. Infatti il parco centrale agisce come un vero e proprio condizionatore naturale, attraverso l'ombra creata dagli alberi e il fenomeno dell'evapotraspirazione, che è accentuato grazie alla vasta quantità di acqua contenuta nella zona e alla vegetazione onnipresente [4].

In Danimarca, a Copenaghen si utilizzano le acque di pioggia come risorsa, invece di farle finire direttamente in fognatura. Questo approccio rientra nella logica di creare delle città più vivibili e resilienti poiché riduce sostanzialmente i rischi legati alle precipitazioni intense e favorisce un minor consumo di risorse idriche primarie, soprattutto per usi diverse da quello potabile [19]. In pratica vi sono diverse iniziative che comprendono un progetto chiamato "Scandiagade", il quale consiste in una sorta di piazza d'acqua. Esso è situato in uno dei quartieri residenziali più popolati della capitale e possiede un duplice vantaggio: quando non vi sono piogge, l'area funge da parco per i residenti mentre durante



le precipitazioni, è in grado di gestire grandi volumi idrici. Infatti lo spazio urbano detiene otto bacini capaci di contenere 1500 m<sup>3</sup> in modo da ritardare le acque di pioggia, alleviando così la pressione sul sistema fognario [19].

Un ultimo esempio interessante per aumentare la biodiversità urbana e contrastare le isole di calore, è quello fornito dalla città di Utrecht, in Olanda, dove la municipalità ha installato dei tetti verdi su 316 fermate dell'autobus, con aiuole annesse per attirare gli impollinatori. Ciò permette di ridurre le temperature estive, filtrare una parte delle polveri sottili e, come già detto, incrementare la biodiversità in città.



*Figura 24: Visione aerea dell'eco-distretto a Parigi.*

*(Fonte: <https://www.paris-metropole-amenagement.fr/fr/clichy-batignolles-paris-17e>)*



*Figura 25: Esempio di piazza all'interno di un Superblock, nel quartiere Eixample.*

*(Fonte: <https://theoverview.art/superblocks-barcelona-blueprint-for-the-livable-city-of-the-future/>)*



### 3.5 Metriche di raffrescamento

In seguito, si mostra una parte delle tabelle prodotte (Tabella 1, Tabella 2, Tabella 3), contenenti i dati ricavati dall'analisi degli articoli scientifici, che sono stati selezionati secondo i criteri illustrati nel capitolo due. Ciò permette di avere un paragone tra le varie GBI espone nella ricerca, confrontando così il loro effetto benefico verso le ondate di calore e le UHI.

Si sottolinea che le tabelle complete si trovano nella sezione Appendice, in fondo al documento. Esse sono suddivise per tipologia di soluzione (verde, blu e grigia) e possono contenere sia dei valori precisi che degli intervalli di temperatura, entrambi espressi secondo diversi indicatori. Come già affermato, i dati utilizzati provengono solo da documenti pubblicati dal 2017 al 2023, in modo tale da fornire un quadro quanto più aggiornato possibile.

La prima riguarda le infrastrutture verdi (*green infrastructures*, GI).

Tipologia di GI	Luogo dello studio	Effetto di raffrescamento	Autori
Alberi	Putrajaya, Malesia	1,56 °C	Sanusi e Jalil (2021)
Area verde	Atene, Grecia	Fino a 2 °C	Georgakis e Santamouris (2017)
Barriera alberata	Roma, Italia	0,37 °C	Battista et al. (2019)
Facciata verde	Madrid, Spagna	Da 2,4 a 2,9 °C	de Jesus et al. (2017)
Impiego vegetazione (UGI)	Europa (601 FUA)	1,07 °C	Marando et al. (2022)
Impiego vegetazione urbana	Colombo, Ohio (USA)	0,55 °C	Chun e Guldmann (2018)
Impiego vegetazione urbana	Parigi, Francia	2,6 °C	Daniel et al. (2018)
Parchi con molti alberi	Lisbona, Portogallo	Da 1 a 3 °C	Grilo et al. (2020)
Parete verde verticale	Shanghai, Cina	5,5 °C	Yang et al. (2018)
Scenario G10%+A53%+WP35%	Bari, Italia	0,27 °C	Sangiorgio et al. (2022)
Scenario G15%+A48%+WP35%	Bari, Italia	0,53 °C	Sangiorgio et al. (2022)
UGI= 48% FUA	Europa (601 FUA)	3 °C	Marando et al. (2022)

Note per leggere le tabelle:

- UGI= *urban green infrastructures*;
- FUA= *functional urban area*;
- G= *green*, A= *asphalt*, WP= *white plaster* (nei vari scenari);
- PVPs= *photovoltaic panels*, GRs= *green roofs*.

La seconda tratta le infrastrutture blu (*blue infrastructures*, BI).

Tipologia di BI	Luogo dello studio	Effetto di raffrescamento	Autori
Corpo idrico	Putrajaya, Malesia	0,88 °C	Sanusi e Jalil (2021)
Fontana di spruzzi d'acqua	Rotterdam, Olanda	5 °C	Montazereri et al. (2017)
Fontana di spruzzi d'acqua	Rotterdam, Olanda	7 °C	Montazereri et al. (2017)
Fontane e corpi idrici	Alessandria, Egitto	2 °C	Barakat et al. (2017)
Specchio d'acqua	Roma, Italia	0,48 °C	Battista et al. (2019)
Specchio d'acqua	Roma, Italia	0,9 °C	Battista et al. (2019)

Mentre l'ultima le infrastrutture grigie (*grey infrastructures*, GI).

Tipologia di GreyI	Luogo dello studio	Effetto di raffrescamento	Autori
Copertura ombreggiante	Roma, Italia	0,84 °C	Battista et al. (2019)
Copertura ombreggiante	Roma, Italia	Fino a 2,07 °C	Battista et al. (2022)
Copertura ombreggiante	Roma, Italia	0,85 °C	Battista et al. (2022)
Pavimentazione riflettente	Roma, Italia	1,03 °C	Battista et al. (2022)
PVPs+GRs	Guangzhou, Cina	0,5 °K	Chen et al. (2023)
Strutture ombreggianti	Milano, Italia	0,8 °C	Lee et al. (2020)
Tende ottimizzate	Italia centrale	2,5 °C	Rossi et al. (2020)
Vele ombreggianti	Cordoba, Spagna	Fino a 3 °C	Garcia-Nevado et al. (2021)

Come si può notare dalle porzioni soprastanti, impiegare una buona percentuale di verde nell'ambiente cittadino, sotto forma di parchi, facciate verdi o alberi, potrebbe ridurre la temperatura fino a diversi gradi, aumentando il *comfort* dei residenti e producendo molteplici vantaggi già analizzati precedentemente. In aggiunta utilizzare fontane o spruzzi d'acqua, magari combinate con le GI, diminuirebbe la  $T_a$  di circa un grado e di molto il calore percepito dalle persone, nel dettaglio anche di 7 °C secondo una ricerca del 2017. Per quanto riguarda gli interventi grigi, si rimarca la capacità delle strutture ombreggianti di raffrescare l'aria presente in un intervallo che va da poco meno di uno fino a tre gradi Celsius, offrendo un beneficio importante soprattutto alle basse latitudini, dove l'irraggiamento solare è maggiore.

In conclusione, queste quantità dimostrano l'importanza delle GBI nel creare delle città più salubri e resilienti ai cambiamenti climatici in atto.

### 3.6 Da isola di calore ad area di mitigazione: opportunità dai vuoti urbani

Al giorno d'oggi, urbanisticamente parlando, la città di Padova possiede un recente Piano degli Interventi (PI), entrato in vigore nell'estate del 2022, e un Piano del verde comunale che, a differenza del primo, non è ancora stato attuato [16]. Quest'ultimo è uno strumento contenente una visuale a medio e lungo termine sulle aree verdi della zona cittadina e periferica [16]. Al suo interno, uno degli intenti consiste nella realizzazione di infrastrutture verdi per migliorare le condizioni ecologiche dell'ambiente urbano e i servizi ecosistemici ad esse connessi. Tra gli obiettivi del PI, inoltre, vi sono sia la rigenerazione urbana che la limitazione del consumo di suolo, in modo da allinearsi con la norma regionale risalente al 2017 (LR14/2017) per il contenimento di tale fenomeno.

In tale ottica e considerando quanto appena affermato, si propone la riqualificazione di una zona abbandonata del comune patavino, la quale si trova vicino alla stazione a ridosso dei Giardini dell'Arena, che costituiscono un vero e proprio patrimonio ambientale e culturale. Questa rigenerazione potrebbe trasformare l'ex PP1 (denominazione del sito perimetrato) in un parco pubblico di circa 3,5 ha; un'area verde di notevoli dimensioni, considerando il contesto urbano di Padova.

L'eventuale parco cittadino sorgerebbe in un sito caratterizzato da molte superfici impermeabili e coperture artificiali, le quali causano l'avvenimento delle UHI nella zona, soprattutto durante la stagione estiva. Esso sarebbe lungo 234 m (asse Nord-Est verso Sud-Ovest), si svilupperebbe praticamente in piano (Figura 26), poiché vi è un dislivello di appena due metri tra il minimo e il massimo dell'area (rispettivamente 12 e 14 m s.l.m.), e potrebbe rappresentare una vera e propria opportunità di sperimentare a Padova le conclusioni tratte nella ricerca.

Basandosi sulle metriche ottenute nel progetto ed effettuando una media ponderata dei dati selezionati, si ipotizza che tale GI potrebbe ridurre la temperatura dell'aria di circa 1,57 °C al suo interno, connetendosi ai servizi eco-sistemici dei Giardini e contrastando quindi efficacemente le isole di calore urbano.



Si sottolinea che la misurazione è stata effettuata con Google Earth Pro e si riporta sia il profilo altimetrico che una mappa (Figura 27) dell'area in questione.



Figura 26: Lunghezza e profilo altimetrico del possibile parco pubblico, associato alla rigenerazione dell'ex PPI.



Figura 27: mappa dell'eventuale area di riqualificazione, che trasformerebbe la zona perimetrata in un'area verde di circa 3,5 ha (ettari).

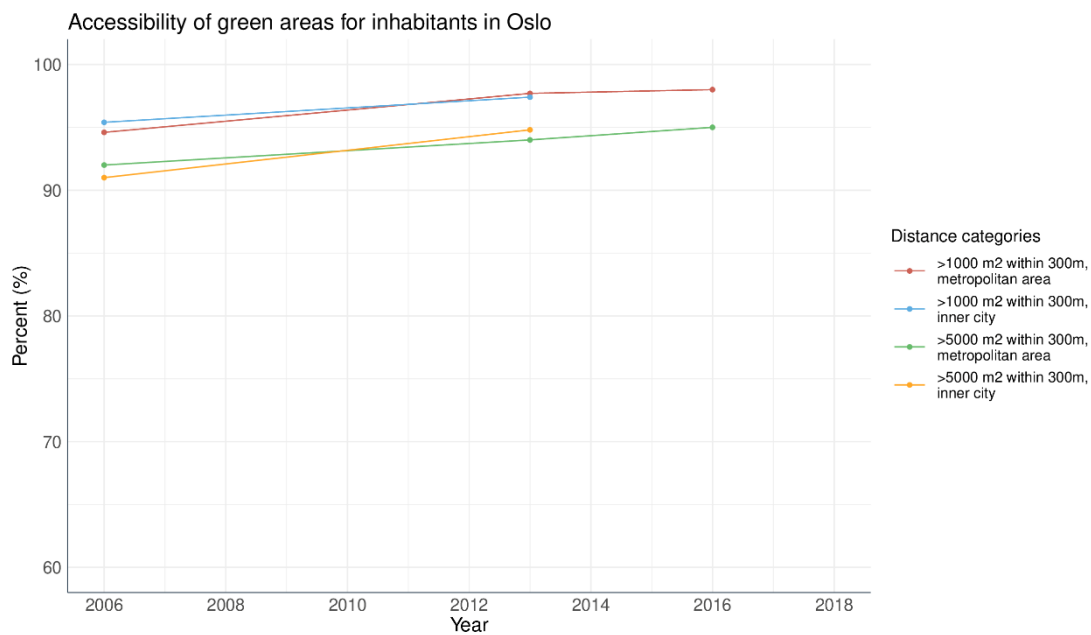
## 4 Discussioni

### 4.1 Prevenzione, politiche e sostenibilità urbana

Rispetto alle tematiche trattate nella ricerca, è sempre meglio agire in prevenzione visti i crescenti impatti dei cambiamenti climatici sulle città e sulle persone che vi risiedono. Per ciò si consiglia l'implementazione delle GBI esistenti e la creazione di nuovi spazi urbani dedicati proprio alle soluzioni blu e verdi, combinandole in modo da ottenere un connubio che aumenti il loro potenziale di raffrescamento. Tali azioni sono in linea con gli obiettivi di sviluppo sostenibile dell'ONU (SDGs) e in particolare con i numeri 3, 11 e 13 dell'elenco.

Inoltre secondo l'IUCN, tre quarti delle emissioni di gas serra (GHGs) e metà dei rifiuti mondiali vengono prodotti in contesto urbano ed oltre il 90% dell'energia è consumata in città [1]. Dunque, la maggioranza dell'inquinamento ricade nei centri abitati e nelle attività connesse ad essi; di conseguenza, bisogna intraprendere delle azioni più consapevoli e sollecitare la classe politica a compiere delle scelte ragionevoli, affrontando con serietà tali problematiche.

In ambito urbanistico poi, appurato che le soluzioni non mancano, bisogna pianificare attentamente gli strumenti e le strategie da mettere in pratica per rendere le città più sostenibili e anche vivibili. A tale proposito una scelta interessante è la cosiddetta regola del 3-30-300, ovvero che ogni persona dovrebbe poter vedere almeno tre alberi dalla propria abitazione, ogni quartiere dovrebbe avere almeno il 30% della copertura arborea e il parco più vicino dovrebbe distare al massimo 300 m. Un esempio di tale filosofia è fornito sia da Valencia che da Oslo, capitale della Norvegia, in cui il 98% della popolazione vive entro 300 metri da una zona verde. Quest'anno la città spagnola, invece, si è guadagnata il titolo di capitale verde europea in quanto possiede numerosi aspetti positivi come, per esempio, la presenza di due parchi naturali protetti in periferia, i quali sono facilmente accessibili in bicicletta o con i mezzi pubblici.



The graph shows the percentage of inhabitants that are closer than 300 m to green areas of 1000m<sup>2</sup> and 5000m<sup>2</sup>, respectively.  
Data source: Agency for Planning and Building Services.

*Figura 28: Percentuale dei residenti di Oslo che vivono a meno di 300 m da un'area verde.*

*(Fonte: <https://www.oslo.kommune.no/politics-and-administration/statistics/environment-status/area-and-open-areas/>)*



*Figura 29: Dettaglio del parco di Cabecera a Valencia.*

*(Fonte: <https://www.visitvalencia.com/it/cosa-fare-valencia/natura-a-valencia/parchi-e-giardini/parco-di-cabecera>)*



## 4.2 Considerazioni finali

Al fine di fronteggiare le conseguenze crescenti del riscaldamento globale e i suoi effetti sull'ambiente cittadino, le amministrazioni pubbliche dovrebbero includere ed implementare un maggiore numero di infrastrutture verdi e blu nel contesto urbano. Tale consiglio merita considerazione non solo perché, come analizzato nella ricerca, le GBI detengono il potere di contrastare efficacemente le ondate di calura e le UHI ma anche poiché migliorano la salute dei residenti e la resilienza della città.

Come già affermato e seguendo le direttive regionali (Veneto), si suggerisce il recupero e la riqualificazione delle zone urbane colpite maggiormente dall'eccesso di calore e caratterizzate da una vulnerabilità più elevata riguardo a tali impatti, assicurando così una prospettiva di giustizia climatica equa per i cittadini.

Inoltre, è evidente come l'uso e la copertura del suolo (acronimo inglese: LULC) siano, insieme ai gas climalteranti, uno tra i *drivers* dei cambiamenti climatici in atto. Quindi risulta opportuno agire in questo campo per contrastarne le cause e attenuarne le ripercussioni sui residenti; in pratica riducendo il consumo di suolo e ripopolando, quanto più possibile, i centri abitati di zone verdi. Ciò permetterebbe non solo di combattere le isole di calore urbano ma anche di ridurre il rischio di alluvioni, avendo un terreno meno impermeabile. Un ulteriore vantaggio di questo approccio si può individuare nella creazione di passaggi ciclo-pedonali meno stressanti per gli abitanti, sia dal punto di vista termico che sonoro, legato al traffico.

Tra tutte le soluzioni analizzate, si consigliano gli interventi blu e di forestazione urbana, assieme al dispiegamento di tetti e facciate verdi, considerando i molteplici vantaggi offerti da entrambe le categorie. Per quanto riguarda le infrastrutture blu, esse sono rilevanti poiché il calore latente dell'acqua è molto elevato e riescono a sequestrare ingenti quantità di Carbonio dall'atmosfera [16]. Mentre per la seconda, bisogna affermare che gli alberi, come già sottolineato, costituiscono uno degli strumenti più efficaci in tale ambito e dovrebbero ricevere maggiore attenzione [11].

Infine, l'impiego di sistemi di drenaggio adeguati (SUDS) o di raccolta e riutilizzo delle acque piovane risultano altrettanto importanti ai fini citati.

In conclusione, considerando quanto indagato nel progetto di tesi, si dichiara che le infrastrutture blu e verdi, e in particolare quelle suddette, incarnano un'ottima strategia di adattamento in contesto urbano rispetto alle tematiche in questione.

Allora, il loro adeguato utilizzo permetterebbe sia di mitigare le conseguenze dei cambiamenti climatici che di plasmare le città verso uno sviluppo più ragionevole e sostenibile di quello attuale.

## Appendice

Note per la corretta interpretazione:

- UGI= *urban green infrastructures*;
- FUA= *functional urban area*;
- G= *green*, A= *asphalt*, WP= *white plaster* (nei vari scenari);
- PVPs= *photovoltaic panels*, GRs= *green roofs*.
- RPVPs= *rooftop photovoltaic panels*, CRs= *cool roofs*;
- UTCI= *universal thermal climate index*.

Tabella 1: Revisione della capacità raffrescante delle infrastrutture verdi.

Tipologia di soluzione verde (GI)	Luogo dello studio	Effetto di raffrescamento	Indicatore di Temperatura (°C o °K)	Autori	Anno di pubblicazione
50% di copertura arborea	Cairo, Egitto	4 °K	PET (°K)	Aboelata e Sodoudi	2019
50% di copertura arborea	Cairo, Egitto	Da 0,5 a 1 °K	$\Delta T_a$ (°K)	Aboelata e Sodoudi	2019
Alberi	Putrajaya Botanical Garden, Putrajaya, Malesia	1,56 °C	$\Delta T_a$ media	Sanusi e Jalil	2021
Area verde (vs. verde nell'area suburbana)	Atene, Grecia	Fino a 2 °C	$\Delta T_a$	Georgakis e Santamouris	2017
Aree verdi con alberi (vs. piazze e strade)	Padova	Fino a 6-10 °C	$\Delta T$	Semenzato e Bortolini	2023
Aumento del 10% di vegetazione	Shenzhen, Cina	Da 0,05 a 0,15 °C	UHII (giorno)	Yan C. et al.	2020
Aumento del 10% di vegetazione	Shenzhen, Cina	Da 0,16 a 0,55 °C	UHII (notte)	Yan C. et al.	2020
Barriera alberata	Piazza Mirti, Roma (Distretto Centocelle)	0,37 °C	$\Delta T_a$ media	Battista et al.	2019
Barriera alberata	Piazza Mirti, Roma (Distretto Centocelle)	0,54 °C	$\Delta T_a$ max	Battista et al.	2019
Barriera alberata	Viale Mazzini, Roma	Da 1,3 a 1,4 °C	$\Delta LST$ (10 m)	Marando et al.	2019
Barriera alberata	Viale Mazzini, Roma	Da 1,75 a 1,9 °C	$\Delta LST$ (fino a 30 m)	Marando et al.	2019
Combinazione d'interventi	Piazza Mirti, Roma (Distretto Centocelle)	1,39 °C	$\Delta T_a$ media	Battista et al.	2019
Combinazione d'interventi	Piazza Mirti, Roma (Distretto Centocelle)	1,86 °C	$\Delta T_a$ max	Battista et al.	2019

Copertura arborea (vs. stazione di rif.)	Padova	Fino a 5 °C (giorno), meno di 1 °C (notte)	$\Delta T$	Semenzato e Bortolini	2023
Facciata verde	Madrid, Spagna	Da 2,4 a 2,9 °C	$\Delta T_a$	de Jesus et al.	2017
Foresta peri-urbana	Catselporziano, Roma	Da 2,5 a 3,1 °C	$\Delta LST$ (10 m)	Marando et al.	2019
Foresta peri-urbana	Catselporziano, Roma	Da 5,3 a 5,6 °C	$\Delta LST$ (fino a 170 m)	Marando et al.	2019
Foresta urbana	Villa Ada Savoia, Roma	Da 2,8 a 3,2 °C	$\Delta LST$ (10 m)	Marando et al.	2019
Foresta urbana	Villa Ada Savoia, Roma	Da 4,1 a 5,2 °C	$\Delta LST$ (fino a 100 m)	Marando et al.	2019
Impiego vegetazione (UGI)	Europa (601 FUA)	1,07 °C	$\Delta T_a$ media (CI:cooling index)	Marando et al.	2022
Impiego vegetazione urbana	Colombo, Ohio (USA)	0,55 °C	$\Delta LST$ (hotspot zone)	Chun e Guld-mann	2018
Impiego vegetazione urbana	Parigi, Francia	2,6 °C	$\Delta T_a$	Daniel et al.	2018
Impiego vegetazione urbana	Colombo, Ohio (USA)	Da 0,01 a 0,25 °C	$\Delta LST$	Chun e Guld-mann	2018
Impiego vegetazione urbana	Colombo, Ohio (USA)	Superiore a 2 °C	$\Delta LST$ (hotspot zone)	Chun e Guld-mann	2018
Miglioramento vegetazione	Piazza Mazzini, Roma	0,6 °C	$\Delta T_a$ media	Battista et al.	2022
Miglioramento vegetazione	Piazza Mazzini, Roma	1,19 °C	$\Delta T_a$ max	Battista et al.	2022
Miglioramento vegetazione	Piazza Mazzini, Roma	Fino a 1,46 °C	$\Delta T_a$	Battista et al.	2022
Parchi con alta densità di alberi	Lisbona, Portogallo	Da 1 a 3 °C	$\Delta T_a$	Grilo et al.	2020
Parco pubblico (parco olimpico Forest)	Pechino, Cina	Da 0,6 a 2,8 °C	$\Delta T_a$ media	Yan H. et al.	2018
Parete verde verticale	Shanghai, Cina	5,5 °C	$\Delta T_a$ max	Yang et al.	2018
Prato	Piazza Mazzini, Roma	1,35 °C	$\Delta T_a$ media	Battista et al.	2022
Prato	Putrajaya Botanical Garden, Putrajaya, Malesia	1,59 °C	$\Delta T_a$ media	Sanusi e Jalil	2021

Prato	Piazza Mazzini, Roma	2,58 °C	$\Delta T_a$ max	Battista et al.	2022
Prato	Piazza Mazzini, Roma	Fino a 2,88 °C	$\Delta T_a$	Battista et al.	2022
Scenario G10%+A53%+WP35%	Distretto Murattiano, Bari (Italia)	0,27 °C	$\Delta U_{HII}$	Sangiorgio et al.	2022
Scenario G15%+A48%+WP35%	Distretto Murattiano, Bari (Italia)	0,53 °C	$\Delta U_{HII}$	Sangiorgio et al.	2022
Scenario G3%+A50%+WP45%	Distretto Murattiano, Bari (Italia)	0,11 °C	$\Delta U_{HII}$	Sangiorgio et al.	2022
Scenario G30%+A33%+WP35%	Distretto Murattiano, Bari (Italia)	1,68 °C	$\Delta U_{HII}$	Sangiorgio et al.	2022
Tetti verdi	Guangzhou, Cina	0,1 °K	12-17 LST (°K)	Chen et al.	2023
UGI= 16% FUA	Europa (601 FUA)	1 °C	$\Delta T_a$ (CI)	Marando et al.	2022
UGI= 32% FUA	Europa (601 FUA)	2 °C	$\Delta T_a$ (CI)	Marando et al.	2022
UGI= 48% FUA	Europa (601 FUA)	3 °C	$\Delta T_a$ (CI)	Marando et al.	2022

Tabella 2: Revisione del potere raffrescante delle infrastrutture blu.

Tipologia di soluzione blu (BI)	Luogo dello studio	Effetto di raffrescamento	Indicatore di Temperatura (°C o °K)	Autori	Anno di pubblicazione
Corpo idrico	Putrajaya Botanical Garden, Putrajaya, Malesia	0,88 °C	$\Delta T_a$ media	Sanusi e Jalil	2021
Fontana di spruzzi d'acqua	Rotterdam, Olanda	5 °C	$\Delta T_a$	Montazereri et al.	2017
Fontana di spruzzi d'acqua	Rotterdam, Olanda	7 °C	UTCI	Montazereri et al.	2017
Fontane e corpi idrici	Alessandria, Egitto	2 °C	$\Delta T_a$	Barakat et al.	2017
Specchio d'acqua	Piazza Mirti, Roma (Distretto Centocelle)	0,48 °C	$\Delta T_a$ media	Battista et al.	2019
Specchio d'acqua	Piazza Mirti, Roma (Distretto Centocelle)	0,9 °C	$\Delta T_a$ max	Battista et al.	2019

Tabella 3: Revisione della capacità raffrescante delle infrastrutture grigie.

Tipologia di soluzione grigia (GreyI)	Luogo dello studio	Effetto di raffrescamento	Indicatore di Temperatura (°C o °K)	Autori	Anno di pubblicazione
Copertura ombreggiante	Piazza Mirti, Roma (Distretto Centocelle)	0,84 °C	$\Delta T_a$ media	Battista et al.	2019
Copertura ombreggiante	Piazza Mirti, Roma (Distretto Centocelle)	1,18 °C	$\Delta T_a$ max	Battista et al.	2019
Copertura ombreggiante	Piazza Mazzini, Roma	Fino a 2,07 °C	$\Delta T_a$	Battista et al.	2022
Copertura ombreggiante	Piazza Mazzini, Roma	0,85 °C	$\Delta T_a$ media	Battista et al.	2022
Copertura ombreggiante	Piazza Mazzini, Roma	1,85 °C	$\Delta T_a$ max	Battista et al.	2022
GRs o CRs	Guangzhou, Cina	Fino a 0,2 °K	UHII (°K)	Chen et al.	2023
RPVPs	Guangzhou, Cina	0,55 °K	LST giornaliero (°K)	Chen et al.	2023
PVPs+GRs	Guangzhou, Cina	0,5 °K	12-17 LST (°K)	Chen et al.	2023
Pavimentazione drenante	Parigi, Francia	1,10 °C	$\Delta T_a$	Daniel et al.	2018
Pavimentazione riflettente (0.3 albedo)	Piazza Mirti, Roma (Distretto Centocelle)	0,19 °C	$\Delta T_a$ media	Battista et al.	2019
Pavimentazione riflettente (0.3 albedo)	Piazza Mirti, Roma (Distretto Centocelle)	0,44 °C	$\Delta T_a$ max	Battista et al.	2019
Pavimentazione riflettente (0.5 albedo)	Piazza Mazzini, Roma	Fino a 1,2 °C	$\Delta T_a$	Battista et al.	2022
Pavimentazione riflettente (0.5 albedo)	Piazza Mazzini, Roma	0,39 °C	$\Delta T_a$ media	Battista et al.	2022
Pavimentazione riflettente (0.5 albedo)	Piazza Mazzini, Roma	1,03 °C	$\Delta T_a$ max	Battista et al.	2022
PVPs+GRs	Guangzhou, Cina	0,58 °K	LST giornaliero (°K)	Chen et al.	2023
PVPs+GRs	Guangzhou, Cina	0,5 °K	UHII (°K)	Chen et al.	2023
RPVPs	Guangzhou, Cina	0,6 °K	UHII (°K)	Chen et al.	2023
Strutture ombreggianti	Milano, Italia	0,8 °C	$\Delta T_a$	Lee et al.	2020
Strutture ombreggianti	Milano, Italia	8,2 °C	PET	Lee et al.	2020
Tende ottimizzate	Italia centrale	2,5 °C	PET	Rossi et al.	2020
CRs	Guangzhou, Cina	0,6 °K	12-17 LST (°K)	Chen et al.	2023
Vele ombreggianti	Cordoba, Spagna	Fino a 3 °C	$\Delta T_a$	Garcia-Nevado et al.	2021

## Bibliografia

- [1] H. Akbari, D. Kolokotsa, Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research, *Energy Build* 133 (2016) 834–842.
- [2] G. Battista, L. Evangelisti, C. Guattari, E. Vollaro, R. De Lieto Vollaro, F. Asdrubali, Urban Heat Island Mitigation Strategies: Experimental and Numerical Analysis of a University Campus in Rome (Italy), *Sustainability* 12 (2020) 7971.
- [3] G. Battista, E. de Lieto Vollaro, L. Evangelisti, R. de Lieto Vollaro, Urban Overheating Mitigation Strategies Opportunities: A Case Study of a Square in Rome (Italy), *Sustainability* 14 (2022).
- [4] J. Bazard, THE ECO-DISTRICT: A reference in sustainable urban development in Paris, Paris, 2015.
- [5] P. Bevilacqua, D. Mazzeo, R. Bruno, N. Arcuri, Surface temperature analysis of an extensive green roof for the mitigation of urban heat island in southern mediterranean climate, *Energy Build* 150 (2017) 318–327.
- [6] D.E. Bowler, L. Buyung-Ali, T.M. Knight, A.S. Pullin, Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence, *Landsc Urban Plan* 97 (2010) 147–155.
- [7] S.E. Pappalardo, C. Zanetti, V. Todeschi, Mapping urban heat islands and heat-related risk during heat waves from a climate justice perspective: A case study in the municipality of Padua (Italy) for inclusive adaptation policies, *Landsc Urban Plan* 238 (2023) 104831.
- [8] G.L. Feyisa, K. Dons, H. Meilby, Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: An example from Addis Ababa, *Landsc Urban Plan* 123 (2014) 87–95.
- [9] ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Verso città resilienti: gli interventi del Programma sperimentale per l’adattamento ai cambiamenti climatici in ambito urbano, 2023.
- [10] L. Mercalli, Il clima che cambia, BUR-2019, Mondadori Libri, Milano, 2019.
- [11] M. Morabito, A. Crisci, G. Guerri, A. Messeri, L. Congedo, M. Munafò, Surface urban heat islands in Italian metropolitan cities: Tree cover and

- impervious surface influences, *Science of The Total Environment* 751 (2021) 142334.
- [12] T.E. Morakinyo, W. Ouyang, K.K.-L. Lau, C. Ren, E. Ng, Right tree, right place (urban canyon): Tree species selection approach for optimum urban heat mitigation - development and evaluation, *Science of The Total Environment* 719 (2020) 137461.
- [13] S. Parizotto, R. Lamberts, Investigation of green roof thermal performance in temperate climate: A case study of an experimental building in Florianópolis city, Southern Brazil, *Energy Build* 43 (2011) 1712–1722.
- [14] C.Y. Park, Y.S. Park, H.G. Kim, S.H. Yun, C.-K. Kim, Quantifying and mapping cooling services of multiple ecosystems, *Sustain Cities Soc* 73 (2021) 103123.
- [15] K. De Pauw, L. Depauw, K. Calders, S. Caluwaerts, S.A.O. Cousins, E. De Lombaerde, M. Diekmann, D. Frey, J. Lenoir, C. Meeussen, A. Orczewska, J. Plue, F. Spicher, F. Zellweger, P. Vangansbeke, K. Verheyen, P. De Frenne, Urban forest microclimates across temperate Europe are shaped by deep edge effects and forest structure, *Agric For Meteorol* 341 (2023) 109632.
- [16] F. Peroni, D. Codato, L. Buscemi, M. Cibrario, S.E. Pappalardo, M. De Marchi, Rethinking urban riparian ecosystems as a frontline strategy to counter climate change: mapping 60 years of carbon sequestration evolution in Padua, Italy, *Frontiers in Climate* 5 (2023).
- [17] M. Santamouris, Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—A review of the actual developments, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26 (2013) 224–240.
- [18] G. Del Serrone, P. Peluso, L. Moretti, Evaluation of Microclimate Benefits Due to Cool Pavements and Green Infrastructures on Urban Heat Islands, *Atmosphere (Basel)* 13 (2022) 1586.
- [19] State of green, Using rainwater as a resource to create resilient and liveable cities, Copenhagen, 2021.
- [20] X. Yao, K. Yu, X. Zeng, Y. Lin, B. Ye, X. Shen, J. Liu, How can urban parks be planned to mitigate urban heat island effect in “Furnace cities”? An accumulation perspective, *J Clean Prod* 330 (2022) 129852.



- [21] P. Yensukho, S. Sugsaisakon, S. Kittipongvises, City-wide greenhouse gas emissions of communities nearby the world heritage site of Ayutthaya, Thailand, Sci Rep 12 (2022) 9787.

## Sitografia

- <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/>
- <https://www.eea.europa.eu/en/newsroom/editorial/heatwaves-and-other-climate>
- <https://www.eea.europa.eu/publications/who-benefits-from-nature-in/who-benefits-from-nature-in/>
- <https://indicatoriambientali.isprambiente.it/sites/default/files/2022/>
- [https://www.treccani.it/vocabolario/dizionario\\_\(Sinonimi-e-Contrari\)/](https://www.treccani.it/vocabolario/dizionario_(Sinonimi-e-Contrari)/)
- <https://www.isprambiente.gov.it/it/banche-dati/banche-dati-folder/suolo-e-territorio/uso-del-suolo>
- <https://ipccitalia.cmcc.it/nature-based-solutions/>
- <https://www.envi-met.com/it/software/>
- <https://land.copernicus.eu/global/products/LST>
- <https://land.copernicus.eu/global/products/ndvi>
- <https://dbareurbane.isprambiente.it/alldataviewmodelview/list/>
- <https://www.sibater.it/2021/11/24/gli-orti-urbani-fra-sostenibilita-ambientale-e-rigenerazione-sociale/>
- <https://efb-greenroof.eu/>
- <https://www.lifegate.it/10-disastri-climatici-2022>
- <https://www.cmcc.it/it/rischio-clima-citta-2021>
- <https://www.legambiente.it/comunicati-stampa/2023-anno-da-bollino-rosso-per-il-clima/>
- <https://ilbolive.unipd.it/it/news/2023-lanno-eventi-estremi>
- <https://www.cmcc.it/it/report-roma>
- <https://www.cmcc.it/it/report-milano>
- <https://www.c40.org/it/case-studies/barcelona-superblocks/>

- <https://www.parisetmetropole-amenagement.fr/fr/clichy-batignolles-paris-17e>
- <https://www.lifegate.it/citta-olanda-fermate-dei-bus-api>
- <https://www.oslo.kommune.no/politics-and-administration/statistics/environment-status/area-and-open-areas/>
- <https://www.regione.toscana.it/-/emergenza-alluvione-2023>
- [https://www.snpambiente.it/wp-content/uploads/2023/10/Rapporto\\_consumo\\_di\\_suolo\\_2023.pdf](https://www.snpambiente.it/wp-content/uploads/2023/10/Rapporto_consumo_di_suolo_2023.pdf)