



Città e *climate change*

La vulnerabilità delle aree urbane alle isole di calore

Federica Gaglione

Prefazione di Romano Fistola

Federico II Open Access University Press



Università degli Studi di Napoli Federico II



Università degli Studi di Napoli Federico II
Scuola Politecnica e delle Scienze di Base

Smart City, Urban Planning for a Sustainable Future
City and Climate Change

9

Città e *climate change*
La vulnerabilità delle aree urbane alle isole di calore

Monografia scientifica

Federica Gaglione

Prefazione di Romano Fistola

Federico II Open Access University Press



Città e climate change. La vulnerabilità delle aree urbane alle isole di calore / Federica Gaglione ; prefazione Romano Fistola. – Napoli : FedOAPress, 2022. – 135 p. : ill. ; 25 cm. – (Smart City, Urban Planning for a Sustainable Future. City and Climate Change ; 9).

Accesso alla versione elettronica:
<http://www.fedoabooks.unina.it>

ISBN: 978-88-6887-139-0
DOI: 10.6093/978-88-6887-139-0

Editor

Rocco Papa, University of Naples Federico II, Italy

Editorial Advisory Board

Mir Ali, University of Illinois, USA - Luca Bertolini, Universiteit van Amsterdam, Paesi Bassi - Luuk Boelens, Ghent University, Belgium - Dino Borri, Politecnico di Bari, Italia - Enrique Calderon, Universidad Politécnica de Madrid, Spagna - Roberto Camagni, Politecnico di Milano, Italia - Derrick De Kerckhove, University of Toronto, Canada - Mark Deakin, Edinburgh Napier University, Scotland - Aharon Kellerman, University of Haifa, Israel - Nicos Komninos, Aristotle University of Thessaloniki, Grecia - David Matthew Levinson, University of Minnesota, USA - Paolo Malanima, Magna Græcia University of Catanzaro, Italy - Agostino Nuzzolo, Università degli Studi di Roma Tor Vergata, Italia - Rocco Papa, Università degli Studi di Napoli Federico II, Italia - Serge Salat, Urban Morphology and Complex Systems Institute, France - Mattheos Santamouris, National Kapodistrian University of Athens, Greece - Ali Soltani, Shiraz University, Iran

All the books of this series undergo rigorous double-blind review process

© 2022 FedOAPress - Federico II Open Access University Press
Università degli Studi di Napoli Federico II
Centro di Ateneo per le Biblioteche "Roberto Pettorino"
Piazza Bellini 59-60 - 80138 Napoli, Italy
<http://www.fedoapress.unina.it>

Published in Italy

Gli E-Book di FedOAPress sono pubblicati con licenza
Creative Commons Attribution 4.0 International

Copertina e progetto grafico: TeMALAB
Foto di copertina: Napoli Urban Center

Prefazione

1. La città nel cambiamento climatico

- 1.1 Città e cambiamento climatico
- 1.2 I fenomeni del cambiamento climatico: le isole di calore urbano
- 1.3 Ondate di calore nelle aree urbane: un framework scientifico
- 1.4 La vulnerabilità dei sistemi urbani: modelli e approcci per misurarla

Riferimenti bibliografici

2. Isole di calore e adattamento

- 2.1 Indirizzi europei per i processi di adattamento
- 2.2 Strategie nazionali di climate-adaptation
- 2.3 Adattamento in ambito urbano
 - 2.3.1 The Mayor's climate change adaptation strategy in London
 - 2.3.2 Paris's adaptation strategy: Towards a more resilient city
 - 2.3.3 One New York 2050: Building a strong and fair city
 - 2.3.4 Strategia locale di adattamento ai cambiamenti climatici della Città di Bologna

Riferimenti bibliografici

3. Variabili, tecniche e modelli

- 3.1 Introduzione
- 3.2 Variabili interpretative e tecniche di interpolazione delle temperature
- 3.3 Modello di stima della vulnerabilità delle aree urbane alle isole di calore

Riferimenti bibliografici

4. Misurare la vulnerabilità delle aree urbane

- 4.1 Il caso studio della città di Napoli
- 4.2 Risultati e discussione del rilevamento delle temperature
- 4.3 Risultati e discussione delle componenti della vulnerabilità
- 4.4 Conclusioni

Riferimenti bibliografici

Prefazione

Romano Fistola

Professore associato in Tecnica e Pianificazione Urbanistica
Dipartimento di Ingegneria (DING) -Università degli Studi del Sannio, Benevento

L'emergenza climatica rappresenta, senza alcun dubbio, la condizione di crisi più elevata e globalmente diffusa che il nostro pianeta abbia mai affrontato. Superando iniziali e fuorvianti tesi negazioniste, è oramai acclarato che le attività antropiche, in particolare concentrate negli insediamenti urbani, siano responsabili della liberazione di gas climalteranti e, conseguentemente, del continuo aumento della temperatura del pianeta. La consapevolezza su tale grave condizione entropica, per la sopravvivenza della specie umana, non ha avuto la diffusione di altre condizioni di rischio, a volte riconducibili a fattori locali, dagli effetti dannosi più contenuti e meno impattanti.

Solo in tempi più recenti la mobilitazione di movimenti popolari, quali il Friday for Future, ha sottolineato l'urgenza di interventi di riduzione delle emissioni climalteranti da parte dei Paesi maggiormente responsabili della crisi climatica. Tuttavia, le ragioni di un'economia nociva, basata su modelli produttivi energivori e vetusti e sulla mono dipendenza energetica dalle fonti fossili, hanno spesso prevalso sulla domanda di radicale ridefinizione dei sistemi di produzione proveniente, in particolare, dalle nuove generazioni, pienamente consapevoli della progressiva erosione delle personali prospettive di futuro. Richiamando la visione sistemica del problema, risulta immediato cogliere le interazioni, in termini di impatti dannosi, che l'emergenza climatica genera; basti considerare i nuovi fenomeni meteorologici estremi, la loro concentrazione spaziale e temporale e la ridotta affidabilità dei modelli previsionali finora utilizzati. Oramai le ricadute catastrofiche sono al livello della percezione del singolo ed hanno effetti di danno sinergico, in particolare nei contesti antropizzati. Fenomeni indotti quali il riscaldamento progressivo degli oceani (che comporta una minore possibilità di produzione di ossigeno), il diffondersi di fenomeni pandemici favoriti dalle alterazioni ecosistemiche e dalla diffusione di specie aliene, la desertificazione progressiva, lo scioglimento delle masse glaciali (che implica non solo l'innalzamento del livello delle masse acquee, ma anche la liberazione di gas climalteranti per secoli intrappolati nel permafrost), la distruzione di vaste aree boschive percorse da incendi ricorrenti ed estesi, e tutti i fenomeni indotti quali: lo spostamento di ingenti masse di popolazione (migranti climatici), la nascita di nuovi conflitti per l'accesso a beni primari quali l'acqua ed anche meno noti come il rallentamento della Corrente del Golfo o la diffusione del "cuneo salino" (fenomeno che

produce la salinizzazione dei fiumi con la conseguente modificazione degli ecosistemi fluviali).

Come sottolineato le città, essendo i luoghi di maggiore concentrazione antropica, costituiscono i siti a più elevata vulnerabilità, nei quali vanno producendosi effetti specifici della crisi climatica. Fra questi la generazione delle "isole di calore" sta richiamando l'attenzione di molti studiosi dei fenomeni urbani. Le Urban Heat Island (UHI) rappresentano quei contesti urbani nei quali, a causa dei torridi climi estivi, si sviluppano elevate temperature, rispetto a quelle delle aree esterne non urbanizzate, riconducibili in particolare, alle caratteristiche dei materiali edilizi e delle superfici bituminose del connettivo stradale ed anche alle emissioni della mobilità e del riscaldamento residenziale. Tale considerevole differenza di temperatura, fra gli ambienti urbani e le aree rurali circostanti, consente di perimetrare specifici ambiti di generazione delle UHI. La presenza di UHI nelle nostre città, peraltro caratterizzate da diffusi processi di senilizzazione, rappresenta un elemento di elevata vulnerabilità ed esposizione a patologie indotte in particolare per le fasce sensibili della popolazione. Lo studio del fenomeno delle UHI e la proposizione di soluzioni urbanistiche al problema, può contribuire ad innescare un'etica orientata alla mitigazione dell'impatto del *climate change* partendo da condizioni locali per giungere a prospettare interventi a più ampia scala territoriale. In tal senso, è necessario governare le trasformazioni attraverso l'adattamento ai cambiamenti climatici al fine di ottenere risposte più concrete alla scala locale. Nel corso degli ultimi anni il dibattito scientifico si è arricchito di approfondimenti relativi al clima delle città e la conoscenza della climatologia urbana costituisce oggi una parte rilevante del processo di progettazione alla scala di edifici, distretti e insediamenti spaziali. Va tuttavia osservato che il quadro scientifico risulta in parte frammentato e non ispirato da una visione sistemica del problema. Le ricerche incentrate sulla scala dell'edificio (ad es. posizione geografica, materiali e caratteristiche del design come forma, orientamento, ecc.) si concentrano principalmente sul comfort termico interno piuttosto che sugli effetti climatici del quartiere o urbano del design; le linee guida relative al clima di solito si applicano solo a edifici separati e alle loro caratteristiche fisiche e spesso ignorano gli effetti della forma urbana collettiva sul clima di scala superiore. La forma urbana è una delle principali caratteristiche che influenzano le

intensità UHI e il clima urbano. In tal senso vanno tuttavia gli importanti studi, pubblicati già un quarto di secolo fa, da T.R. Oke e le attività di sperimentazione progettuale, fra le quali sembra necessario segnalare l'opera di Edward Cullen, impegnato nella ricerca di soluzioni per ridurre gli impatti ambientali dei manufatti edilizi all'interno dei contesti urbani. Nel governo delle trasformazioni urbane e territoriali il concetto di vulnerabilità ricondotta alle UHI è largamente presente negli approfondimenti e condiviso e dagli studiosi. L'organizzazione dei territori per ciascuna scala ha obiettivi distinti, influenzati da diversi fattori e necessita di strumenti diversi. Le soluzioni specifiche, a volte puntuali, sono riconducibili all'adozione delle Nature Based Solution (NBS) per l'incremento della resilienza urbana e che fanno principalmente riferimento ad azioni di riforestazione, realizzazione di tetti verdi e giardini verticali, specifiche tecniche di ombreggiamento, uso dell'acqua per il raffrescamento evaporativo, aumento dell'albedo urbano, etc. Tutte tecniche già utilizzate e facilmente rinvenibili nelle città seicentesche e settecentesche e, in particolare, nei contesti urbani del bacino del mediterraneo. Partire dalla misura della vulnerabilità può consentire di tracciare percorsi innovativi. La vulnerabilità investe strutture e processi fisici, sociali, economici, ambientali e istituzionali che determinano la suscettibilità di un sistema o di un oggetto a subire un danno. Considerando la struttura di interazioni sistemiche si comprende come la scelta di esaminare il fenomeno delle UHI, muovendo dalla formalizzazione della vulnerabilità, costituisca l'approccio maggiormente affine alla visione olistica della città.

Considerando quanto esposto è possibile affermare che il presente volume ha una duplice finalità. Nella prima parte ci si pone l'obiettivo di fornire un *framework* del panorama scientifico attuale, delineando i modelli e gli approcci utilizzati per studiare il fenomeno, offrendo un focus sul concetto e gli indicatori di vulnerabilità delle aree urbane. In particolare, il lavoro pone enfasi sulle misure di adattamento introdotte sia alla scala nazionale che alla scala locale; per ciascuna misura sono individuati: strategie, obiettivi e azioni con l'intento di sviluppare un quadro operativo, che possa risultare utile nella scelta delle azioni da implementare per fronteggiare il fenomeno delle UHI. Nella seconda parte viene proposta una metodologia per misurare il fenomeno delle isole di calore urbano attraverso l'utilizzo di metodi di analisi spaziale considerando le caratteristiche urbane e definendo un ambiente di conoscenza attraverso l'utilizzo di un

sistema informativo geografico (GIS). L'approccio adottato è orientato a mettere a punto uno strumento di supporto alle decisioni che possa risultare utile per analizzare la complessità dei fenomeni urbani. Le definizioni del lavoro di ricerca sono state implementate considerando un sistema urbano complesso quale quello della città di Napoli. In particolare, i risultati ottenuti utilizzando strumenti di ricerca innovativi, consentono di individuare le porzioni di territorio della città dove è possibile prefigurare specifici interventi. Va inoltre sottolineato che, come in tutte le attività di ricerca scientifica, i metodi ed i risultati perseguiti, possono essere estesi ad altri contesti antropici e le soluzioni proposte per ridurre la vulnerabilità, possono costituire un'utile indicazione per la messa a punto di politiche di intervento.

L'intero lavoro si pone in continuità con l'attività di ricerca sviluppata in questi anni dai ricercatori dal Laboratorio TeMALab del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale della "Federico II" di Napoli.

La città, come teorizzavano Kevin Lynch e Donald Appleyard nei primi anni '70 dovrebbe essere un luogo: "senza pericoli e fastidi, quali l'inquinamento, il rumore, gli incidenti, il calore, le luci accecanti e l'affaticamento". Lo studio testimonia la diffusa consapevolezza degli studiosi, in particolare dei più giovani, relativamente alla necessità di intervenire sul sistema città per fronteggiare l'emergenza climatica, adottando visioni ed approcci innovativi ed implementando pratiche in grado di contrastare la crescente entropia degli insediamenti urbani; i luoghi dove si deciderà il futuro dell'umanità.

CAPITOLO 1

CITTÀ E CAMBIAMENTO CLIMATICO

1.1 Città e cambiamento climatico

Nel XXI secolo le città dovranno affrontare numerose sfide, che vanno dalla crescita della popolazione insediata (OMS,2010) alla maggiore presenza di anziani tra i suoi abitanti, dal degrado ambientale alla scarsità delle risorse (energia, acqua ecc..) disponibili. Il cambiamento climatico rappresenta una delle principali minacce a cui l'Europa e il mondo intero sono chiamati a rispondere. Tale tematica ha assunto un ruolo chiave a livello istituzionale.

L'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC,2007) definisce il cambiamento climatico come una variazione del clima "attribuibile direttamente o indirettamente ad attività umane, tali da alterare la composizione dell'atmosfera planetaria e sommarsi alla naturale variabilità climatica osservata su intervalli di tempo analoghi". Tale definizione è prevalentemente condivisa dalla comunità scientifica, la quale ritiene che i cambiamenti climatici siano determinati principalmente dalle emissioni in atmosfera dei cosiddetti gas serra e, in particolar modo, dall'emissioni di CO₂, prodotte dalle attività dell'uomo. Le città sono infatti i principali contribuenti di consumo di energia e di gas serra. Nell'ultimo decennio le emissioni di gas-serra sono aumentate da una media di 11,4 miliardi di tonnellate (Gt) di CO₂ l'anno negli anni '60 a una media di 34,4 GtCO₂ l'anno nel periodo 2008-2017. Nel 2017 le emissioni hanno raggiunto 36,2 GtCO₂, di cui il 40% era dovuto alla combustione del carbone, il 35% del petrolio, il 20% del gas, il 4% del cemento e l'1% del flaring, in leggera crescita rispetto al triennio 2014-2016, durante il quale c'è stata un'interruzione della tendenza di incremento delle emissioni di gas-serra.

Tale sospensione aveva fatto sperare che si fosse raggiunto il picco delle emissioni climato-alteranti e che le politiche globali di riduzione delle emissioni basate sul progresso delle fonti rinnovabili di energia e dell'efficienza energetica, sui trasporti, sui rifiuti e su una migliore gestione del territorio, avrebbero piegato la curva delle emissioni verso il basso, fino ad annullarle, il prima possibile.

Nel 2018 le emissioni di gas-serra da fonti fossili di energia e dall'industria hanno ripreso la loro corsa, aumentando del 2,7% rispetto al 2017 e raggiungendo la cifra record di 37,1 miliardi di tonnellate di CO₂ equivalente, GtCO₂eq.

Per effetto del rilascio in atmosfera di questa enorme quantità di gas, nel 2018 la concentrazione di CO₂ in atmosfera è cresciuta ancora, fino alla quota record di 410 ppm (parti per milione), il 44% in più rispetto ai livelli preindustriali.

Le emissioni sono cresciute nei diversi paesi in misura diversa, contribuendo all'innalzamento delle emissioni globali di gas-serra: la Cina (+4,7%), gli Stati Uniti (+2,5%) e l'India (+6,3%). L'aumento è stato attribuito al maggior numero di veicoli sulle strade e alla 'rinascita' del carbone per la produzione di energia.

A questa cifra occorre aggiungere 4,5 miliardi di tonnellate di CO₂eq che derivano dalla distruzione e degradazione delle foreste e da altre forme di trasformazione d'uso del suolo avvenute nel 2018, in leggera riduzione rispetto al 2017 e alla media del decennio 2008-2017 (5,3 GtCO₂).

Pertanto, le emissioni nel 2018 delle attività umane (combustibili fossili, industria, cambiamento dell'uso del suolo) sono state pari a 41,6 GtCO₂. Per effetto del rilascio in atmosfera di questa enorme quantità di gas, nel 2018 la concentrazione di CO₂ in atmosfera è cresciuta ancora, fino alla quota record di 410 ppm (parti per milione), il 44% in più rispetto ai livelli preindustriali. Il rapporto dell'ottobre 2018 dell'IPCC sul cambiamento climatico ha evidenziato l'incremento di 1,5° della temperatura del pianeta. Inoltre, si evidenzia anche che le attività umane hanno causato un riscaldamento globale di circa 1,0°C rispetto ai livelli preindustriali, con un intervallo probabile tra 0,8 e 1,2°C. È probabile che il riscaldamento globale raggiungerà 1,5°C tra il 2030 e il 2052 se continuerà ad aumentare al tasso attuale.

Le conseguenze che comporta il riscaldamento globale del pianeta sono tre: (i) innalzamento della temperatura media globale; (ii) innalzamento del livello medio globale del mare; (iii) variazioni di frequenza ed intensità delle precipitazioni. Tali fenomeni si rilevano nelle città sotto forma di "effetti secondari" (ad esempio heat waves, heavy rainfall, drought, storm surges, etc.), che nell'ultimo decennio si stanno manifestando con più frequenza ed intensità. Ridurre gli impatti del cambiamento climatico richiede radicali cambiamenti sociali ed economici (Anderson, 2008; Estrada et al., 2017), in particolare nelle nostre città (Van Leeuwen et al., 2016). Le città rappresentano i luoghi in cui organizzare una risposta efficace per combattere i cambiamenti climatici (Carter et al., 2015; Dodman et al., 2012). Nel dettaglio, la lotta al

cambiamento climatico è stata affrontata secondo due strategie. La prima orientata sulla mitigazione che mira a sostenere la transizione delle città verso un modello di sviluppo a basse emissioni di carbonio. La seconda sull'adattamento definita sulla capacità delle città di affrontare gli impatti climatici riducendo la vulnerabilità urbana ai rischi legati al clima. Le città sono gli attori chiave nel ridurre sia le cause del cambiamento climatico (mitigazione) sia i suoi impatti (adattamento). La mitigazione e l'adattamento sono state spesso considerate dai responsabili politici, come due modi diversi "per affrontare lo stesso problema" (Biesbroek et al., 2009; Laukkonen et al., 2009). All'inizio, gli studiosi si sono concentrati nello sviluppare ricerche sulla prima strategia a seguito dell'emanazione di documenti nel quadro della Convenzione delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (Convenzione sul clima, UNFCCC) come il protocollo di Kyoto (1997) e l'Accordo di Parigi (2015) che hanno favorito la lotta al cambiamento climatico attraverso la riduzione delle emissioni di CO₂. Infatti, Il protocollo di Kyoto, è uno dei primi documenti volti a contrastare il riscaldamento climatico, probabilmente il più grande e preoccupante problema ambientale dell'era moderna, attraverso la riduzione delle emissioni di CO₂ in atmosfera. Il protocollo impegnava i Paesi sottoscrittori ad una riduzione quantitativa delle proprie emissioni di gas ad effetto serra (i gas climalteranti, che riscaldano il clima terrestre) rispetto ai propri livelli di emissione del 1990 (baseline), in percentuale diversa da Stato a Stato: per fare questo le parti sono tenute a realizzare un sistema nazionale di monitoraggio delle emissioni ed assorbimenti di gas ad effetto serra (l' "Inventario Nazionale delle emissioni e degli assorbimenti dei gas a effetto serra") da aggiornare annualmente, insieme alla definizione delle misure per la riduzione delle emissioni stesse. A valle del Protocollo di Kyoto nel 2015 è stato stipulato l'Accordo di Parigi. L'Accordo pone come obiettivo prioritario la riduzione progressiva delle emissioni globali di gas serra. Più in dettaglio, tale documento pone l'obiettivo di limitare ben al di sotto dei 2 gradi Celsius il riscaldamento medio globale rispetto al periodo preindustriale, puntando a un aumento massimo della temperatura pari a 1,5 gradi Celsius. Inoltre, tale documento costituisce il primo documento e al contempo uno strumento giuridicamente vincolante nel quadro della Convenzione delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (Convenzione sul clima, UNFCCC). Inoltre, l'accordo ha rafforzato sia l'importanza delle misure di adattamento per ridurre la vulnerabilità ai

cambiamenti climatici che di ridurre le perdite e i danni associati agli impatti negativi dei cambiamenti climatici. Al fine di monitorare i progressi degli Stati nell'attuazione dei loro obiettivi in materia di emissioni, l'accordo definisce che "ciascuna parte deve presentare periodicamente un rapporto nazionale sull'inventario delle emissioni antropogeniche da parte delle fonti e le rimozioni mediante pozzi di gas a effetto serra". Dopo cinque anni dall' Accordo, i pareri risultano discordanti alcuni studiosi lo considerano un fallimento altri un successo. In tale occasione per la prima volta gli stati membri riconoscono il cambiamento climatico come una minaccia per l'intero mondo e si impegnano formalmente a fornire i risultati sulle emissioni nazionali di gas serra. Gli obiettivi fortemente ambiziosi in tale accordo sono stati difficili da perseguire e gli impegni presi da parte di ogni paese sono stati in parte rispettati. L'accordo ha costituito il punto di inizio per definire il ruolo delle città, delle regioni e degli enti locali nell'affrontare i cambiamenti climatici. In particolare, indirizza gli Stati Membri a: (i) intensificare i loro sforzi e sostenere le iniziative volte a ridurre le emissioni di gas serra; (ii) ridurre la vulnerabilità agli effetti negativi dei cambiamenti climatici puntando ad un modello urbano resiliente; (iii) mantenere e promuovere la cooperazione regionale e internazionale.

Al contempo, la comunità scientifica ha portato avanti ricerche volte a studiare le relazioni tra le caratteristiche urbane e i fattori trainanti le emissioni globali di gas ad effetto serra con l'obiettivo di definire le soluzioni urbane più idonee orientate di più verso la mitigazione (Cancila & Iraldo, 2011; Mi et al.,2019; Sharp et al.,2011). Nel dettaglio, le ricerche hanno cercato di proporre interventi che mirano al miglioramento delle riduzioni dei consumi lordi di energia, l'utilizzo di fonti rinnovabili e di interventi per favorire la mobilità sostenibile. La mitigazione dei cambiamenti climatici è un processo lungo i cui risultati sono difficili da ottenere in un periodo di tempo breve. Quando si è compreso che gli impatti del cambiamento climatico sarebbero aumentati a causa degli effetti ritardanti degli interventi urbani volti alla riduzione delle emissioni di gas serra, la comunità scientifica ha iniziato, quindi, ad analizzare le relazioni tra le caratteristiche urbane e gli effetti climatici delle città in un'ottica di adattamento (De Silva et al.,2012; The World Bank, 2015). Nel 2013, l'emanazione della "Strategia dell'UE per

l'adattamento ai cambiamenti climatici", adottata dalla Commissione europea (2013a), evidenzia l'importanza dell'adattamento per la lotta al cambiamento climatico.

La portata dell'impegno accademico in questo campo si espande sempre di più per la stringente esigenza di rispondere in maniera immediata agli effetti del cambiamento climatico soprattutto ad una scala locale. Nelle città l'adattamento ai cambiamenti climatici deve essere una priorità da perseguire. Alcune città come Londra e New York hanno riconosciuto un ruolo significativo introdurre azioni di adattamento per diminuire gli effetti dei cambiamenti climatici, purtroppo, ancora oggi le misure di adattamento non sono affatto saldamente integrate nelle attività della maggior parte delle città. È quindi prezioso che gli istituti di ricerca stiano generando un quadro sempre più ricco di conoscenze scientifiche e approfondimenti pratici che puntano all'adattamento delle città al cambiamento climatico. In tale ottica, un ampio corpus scientifico si è concentrato su sviluppare ricerche sui tre fenomeni del climate change che si manifestano nelle città al fine rispondere in maniera efficace agli impatti del cambiamento climatico.

Il primo sulle isole di calore urbano, gli studi hanno condotto le proprie indagini con l'obiettivo di definire le relazioni tra l'ambiente costruito e l'aumento delle temperature alle diverse scale urbane (isole di calore) che costituisce anche il focus di questo volume. Il verificarsi dell'aumentare delle temperature e di conseguenza anche la frequenza di ondate di calore implica un rischio sulla salute e il benessere dei cittadini, in particolare per le fasce deboli della popolazione (bambini, anziani e persone con ridotta abilità) (Tomlinson et al., 2011; Chiesa & Palme, 2018). Inoltre, l'organizzazione fisica e funzionale dei nostri tessuti urbani unito ai materiali di cui sono composti e alla crescita della popolazione in essi indirettamente favorisce l'effetto dell'isola di calore urbano (UHI). Pertanto, la comunità scientifica si è impegnata a contrastare il disagio termico degli abitanti con l'obiettivo di ridurre i carichi di calore urbano. Il secondo, sull'intensità e frequenza delle precipitazioni nelle città (Houngn & Pathirana, 2013). L'aumentare della frequenza e intensità delle precipitazioni comporta una maggiore esposizione delle città al rischio alluvione e inondazioni, in alcuni casi, dovuto anche al mancato deflusso dell'acqua piovana all'interno delle città puntando a misurare quali siano gli impatti delle precipitazioni all'interno della città. Infine, gli studi si sono concentrati sugli effetti dell'innalzamento del livello del mare e, in generale, delle inondazioni costiere nelle aree

urbane (Conticelli & Tondelli, 2018). Le aree costiere sono zone che presentano un'elevata accessibilità e presenza di diverse risorse. Inoltre, sono caratterizzate da un'elevata densità di popolazione e concentrazione di attività socioeconomiche, ma in futuro, sono le aree urbane particolarmente minacciate dalle inondazioni. L'innalzamento del livello del mare, quindi, genera conseguenze sul sistema urbano come mareggiate e inondazioni che costituiscono un grave rischio per le città costiere che sono circa i due terzi delle città del mondo (McGranahan et al., 2007). In tale ottica la comunità scientifica ha cercato di condurre le proprie ricerche con l'obiettivo di favorire la vivibilità e qualità di vita futura di queste aree.

Il corpus scientifico, prodotto sugli effetti del cambiamento climatico in gran parte ha delineato metodi utili a misurare la vulnerabilità delle aree urbane agli impatti del cambiamento climatico (Bao & Yu, 2015; Inostroza & de la Barrera 2016). L'approccio basato sulla vulnerabilità risulta essere prevalentemente condiviso all'interno degli studi, data la capacità di poter contenere un maggior numero di caratteristiche urbane utile a ridurre i rischi climatici. Gli studi hanno puntato inoltre a definire indicatori qualitativi e quantitativi per definire le aree a rischio e delineare le relative strategie e misure di adattamento costituendo uno dei possibili "mezzi" per definire il fenomeno.

Negli ultimi anni, l'adattamento ai cambiamenti climatici è stato associato sempre più al concetto di "resilienza" (Leichenko 2011). Sebbene tale concetto abbia avuto le sue radici nell'ecologia, si è diffuso in diversi ambiti disciplinari compreso nel governo delle trasformazioni urbane e territoriali. Secondo Holling (2001) ed Alberti et al. (2003), una città si definisce resiliente se è in grado di sopportare i cambiamenti prima di riorganizzarsi in un nuovo sistema di relazioni, strutture e processi. Per Monteiro et al. (2012) una città è resiliente se ha la capacità di sopportare una vasta gamma di shock e minacce, per sopravvivere agli sforzi e a adattarsi alle politiche sociali, economiche e al cambiamento ambientale. Infine, secondo il rapporto dell'United Nations Environment Program UNEP (2005) la resilienza urbana si definisce come l'insieme delle capacità adattive di un sistema urbano a far fronte di fattori di stress e, in particolare, ai fenomeni di cambiamento climatico e di scarsità delle risorse energetiche. In sintesi, la resilienza urbana può essere interpretata come un ulteriore approccio che le città possono adottare al fine di definire tecniche, metodi e strumenti di governo delle trasformazioni urbane e

territoriali più efficaci per rispondere ad eventi esterni al sistema urbano, tra cui gli effetti del cambiamento climatico.

1.2 Gli impatti del cambiamento climatico: le isole di calore urbano

I cambiamenti climatici sono senza dubbio uno dei problemi che le città devono affrontare, diventando uno degli interrogativi di ricerca posti dai ricercatori, urbanisti e tecnici del territorio nell'individuare come ridurre gli effetti come UHI, precipitazioni, inondazioni ecc. Secondo le previsioni dell'International Panel for Climate Change (IPCC), i fenomeni legati alla variabilità climatica si andranno intensificando nei prossimi decenni e gli eventi estremi connessi al clima costituiranno in misura crescente un rischio climatico per le città.

In questo contesto le sfide poste dagli scenari di clima dall'IPCC richiedono una ridefinizione dell'organizzazione urbana e territoriale, così come un aggiornamento delle competenze degli urbanisti e tecnici del territorio nonché degli strumenti di piano.

L'aumento delle emissioni di gas a effetto serra sta causando un riscaldamento del sistema climatico con conseguenze evidenti per le persone, l'ambiente, le attività economiche e le città. Nell'ultimo rapporto sui cambiamenti climatici, l'IPCC ha sviluppato quattro scenari climatici che sono RCP2.6, RCP4.5, RCP6 e RCP8.5 (Figura 1). Tali scenari sono utili ad indentificare le traiettorie di concentrazione dei gas a effetto serra e la futura variabilità climatica.

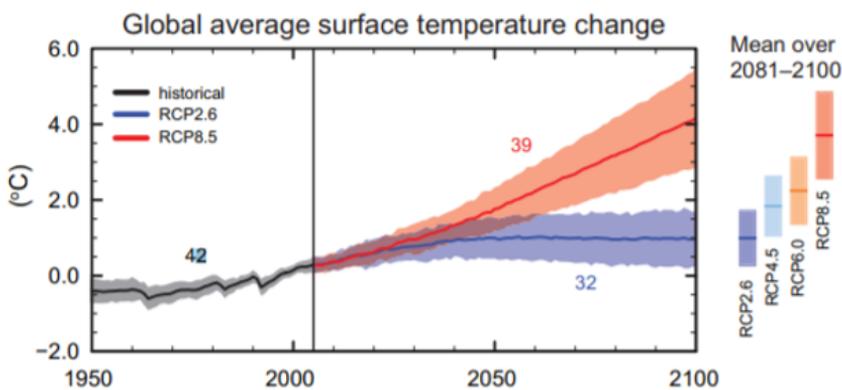


Figura 1 Cambiamento della temperatura superficiale media annuale a livello globale (Fonte IPCC report)

Tuttavia, tali scenari non hanno l'obiettivo di "prevedere il futuro", ma di comprendere meglio le incertezze e gli sviluppi futuri con l'obiettivo di prendere decisioni efficaci per

una migliore gestione degli impatti climatici sulla terra e sui sistemi umani (Stocker et al., 2013).

Come si evince dalla Figura 2 secondo i quattro RCP, è possibile articolare la variabilità climatica in tre fenomeni principali che sono:

- aumento della temperatura media globale che potrebbe variare tra 0,3-1,7 ° C (RCP2.6) e 2,6-4,8 ° C (RCP8.5) entro il 2100;
- variabilità delle precipitazioni attraverso un aumento delle precipitazioni medie annuali alle alte latitudini e aree equatoriali e frequenza di eventi di precipitazione estremi nelle terre a media latitudine;
- innalzamento del livello del mare in intervalli di 0.26-0.55 m per RCP2.6 fino a 0.52-0.98 m per RCP8.5.

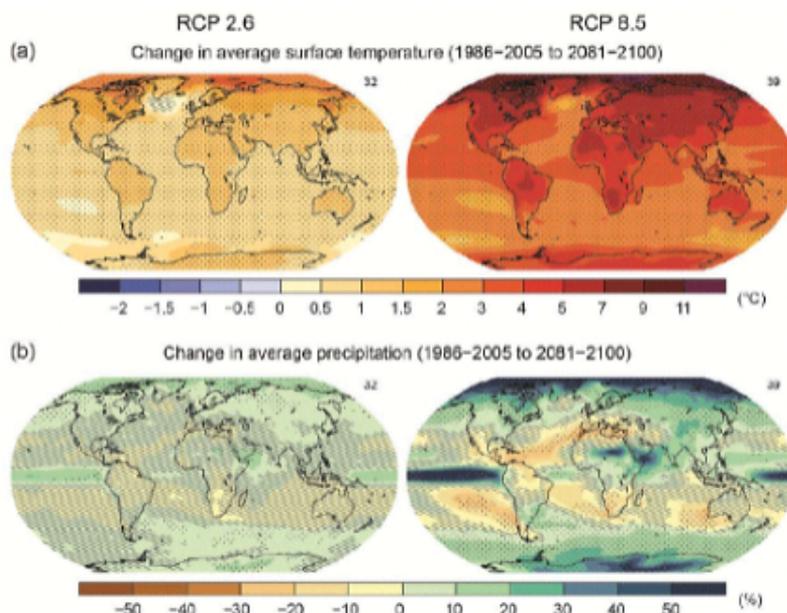


Figura 2 Cambiamento della temperatura superficiale media annuale a livello globale e precipitazioni (Fonte IPCC report)

La variabilità climatica, e in particolare, gli eventi climatici estremi sono diventati sempre più frequenti e ultimamente colpiscono principalmente le aree urbanizzate (Bai et al., 2018). Quindi, le città rappresentano i luoghi in cui organizzare una risposta più efficace per combatterli (Rosenzweig et al., 2010; Reckien et al., 2018). In particolare, tra gli

effetti secondari del cambiamento climatico, il focus di questo volume è sulle isole di calore urbano.

A riguardo gli studi sul clima relativamente alle isole di calore (UHI) hanno evidenziato come la forma urbana, la morfologia del territorio, i materiali del costruito, le attività umane hanno determinato un aumento complessivo della temperatura media annua. L'urgenza imminente è in primis di salvaguardare la salute pubblica, con particolare preoccupazione per le fasce di popolazioni più vulnerabili rispetto a tale fenomeno. Emerge la necessità di intervenire in un'ottica più stringente, e quindi, di adattare le città a ridurre il fenomeno delle isole di calore urbano (UHI). Purtroppo, le case, gli edifici pubblici, le piazze, le strade non sono organizzati per perseguire al contempo obiettivi di confort termico. Affrontare il problema delle isole di calore è un'occasione per migliorare la vivibilità e fruibilità delle nostre città.

Gli studi hanno dimostrato che tale fenomeno è dovuto a un immagazzinamento diurno ed il rilascio notturno di calore, a parità di flusso radiativo conducendo ad un significativo aumento della temperatura nelle aree urbane (Stone & Rodgers, 2001; Kolokotroni & Giridharan, 2008). In accordo con tali studi, le caratteristiche morfologiche della città, la geometria e le dimensioni dell'edificato, e la distribuzione spaziale delle attività antropiche e delle aree verdi, sono strettamente connesse alle condizioni microclimatiche urbane, gravando sugli effetti della radiazione solare e inasprendo fenomeni quali l'isola di calore urbana, UHI. L'intensità delle isole di calore viene misurata come la differenza di temperatura che intercorre tra le aree urbane e le aree circostanti in un determinato intervallo temporale. Il primo a dimostrarlo fu lo studioso Luke Howard nel 1833 nel suo studio *the climate of London*. Howard si occupò proprio di misurare la pressione, temperatura, umidità e precipitazioni atmosferiche nella città di Londra. Lo studioso non solo identificò l'UHI come la differenza di temperatura tra la città e le aree rurali e che tale differenza aumentava dai confini della città al centro urbano. In più, dimostrò che tale fenomeno si manifestava maggiormente nelle ore notturne e nei mesi invernali. Il nome isola di calore compare in letteratura per la prima volta nel 1958 in un articolo di Gordon Manley nel *Quarterly Journal of the Royal Meteorology Society*, sebbene sia plausibile che sia stato coniato prima (Erell et al., 2011). Studi scientifici del fenomeno dell'UHI, tuttavia, cominciarono prima della fine degli anni Quaranta del Novecento,

quando i ricercatori iniziarono ad indagare le variazioni locali nelle proprietà atmosferiche. L'effetto UHI è proporzionale alla morfologia ed alla geometria delle aree urbane (Oke 1973, 1987) e si è avvertito maggiormente col tempo nelle grandi metropoli. Oggi le UHI si stanno ponendo in tutta la loro criticità dato che la frequenza del manifestarsi di eventi atmosferici estremi è sempre più in aumento. Gli effetti negativi delle UHI comportano livelli di temperature notturne poco tollerabili per gli utenti evidenziando la più alta incidenza di decessi proprio nei contesti urbani, sebbene naturalmente non tutta la popolazione sia esposta allo stesso modo al pericolo: l'età avanzata è ad esempio un elemento di vulnerabilità, così come contribuiscono le condizioni di salute pregresse e lo status socio-economico, ma non è solo il calore diretto a incidere negativamente sulla salute degli abitanti. In condizioni atmosferiche anticicloniche e di eccessivo calore, si genera un maggior livello di inquinanti come ozono e polveri sottili, i quali possono causare infiammazioni alle vie respiratorie. Le UHI provocano conseguenze nelle città come alterazione del bilancio energetico degli insediamenti urbani come le proprietà termiche e fisiche di materiali da costruzione, geometria dell'edificio, rugosità superficiale, fonti di calore antropogeniche (Oke 1987). A valle di queste considerazioni, la comunità scientifica a partire dagli anni Quaranta del Novecento ha indagato sulla tematica con l'obiettivo di definire, in primis, le variazioni climatiche (temperatura diurne e notturne, umidità relativa, ventilazione ecc..) presenti in atmosfera. Nel 1966 una forte ondata di calore verificata a New York causò un aumento della mortalità del 6% sollecitando gli studi sull'UHI attraverso un approccio volto alla misurazione delle prestazioni energetiche mediante il bilancio energetico degli insediamenti urbani. Negli anni Settanta e Ottanta l'approccio al tema è stato incentrato sulla modellizzazione e simulazione di tale fenomeno su diverse forme urbane. Dagli anni Novanta gli studi si sono concentrati sulle cause del fenomeno cercando di comprendere le relazioni tra i materiali impiegati nella costruzione di tessuti urbani (strade, edifici, piazze ecc..), morfologia del tessuto urbano, attività urbane al fine di comprendere come gli effetti delle stesse provocano sul clima. Più in dettaglio, gli studi identificano tre tipologie di isole di calore urbano (UHI) a seconda delle temperature misurate nell'area urbana e nelle aree rurali circostanti che comportano un cambiamento della forma e della composizione dell'uso del suolo. Nel dettaglio, le isole di calore urbano possono

essere classificate in tre macrocategorie: (i) Urban Boundary Layer (BLUHI) misura la temperatura dello strato dell'aria al di sopra dell'altezza media degli edifici; (ii) Urban Canopy Layer (CLUHI) stima la temperatura dello strato dell'aria che va dal suolo all'altezza massima degli edifici; (iii) UHI surface (SUHI) rileva la differenza di temperatura tra le aree urbanizzate e le aree rurali. Per quanto riguarda le BLUHI si manifestano nelle aree urbane come una "cupola" di aria calda di uno spessore di circa un kilometro durante il giorno e si riduce di alcune centinaia di metri durante la notte così come si evince dalla Figura 3. Invece, l'alterazione media annuale tipica dell'UCL di una grande città è di 1-3 °C, ma in presenza di condizioni favorevoli può raggiungere un'intensità di 12 °C (Oke 1997). La stagione estiva, l'assenza di vento e di nubi sono le condizioni definite in letteratura "ideali" (Oke 1982), che contribuiscono a massimizzare l'effetto durante il periodo notturno (Figura 4), contrariamente a quanto avviene per le surface UHI. Le UHI surface si verificano quando le città sono circondate da terreni umidi ed aree vegetate che sono superfici più fredde rispetto alle superfici urbane (Yow, 2007). In città si osservano generalmente temperature maggiori delle superfici sia di giorno che di notte; tuttavia, l'intensità del SUHI non è costante durante la giornata e si modifica al variare della radiazione solare: in media è di 10-15 °C durante le ore diurne, mentre assume valori di circa 5-10 °C durante quelle notturne (Figura 5).

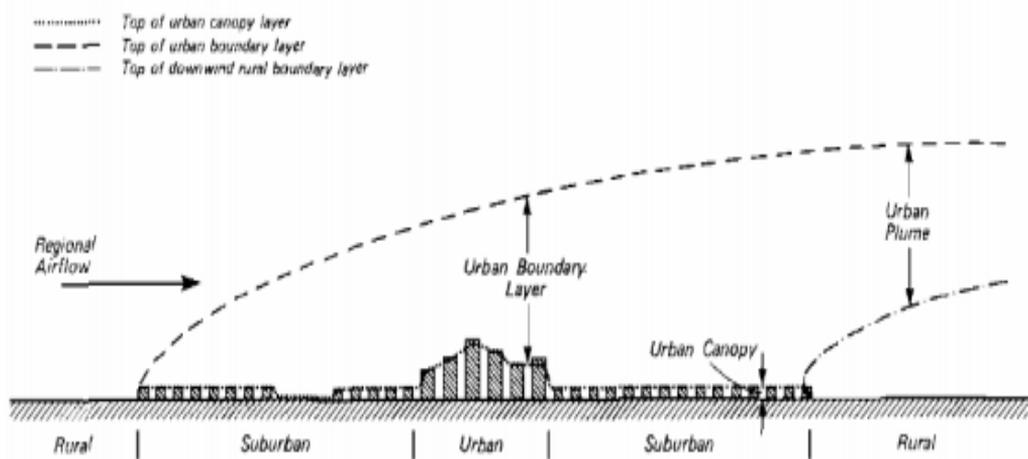


Figura 3 Rappresentazione dell' Urban Boundary Layer (Oke 1976)

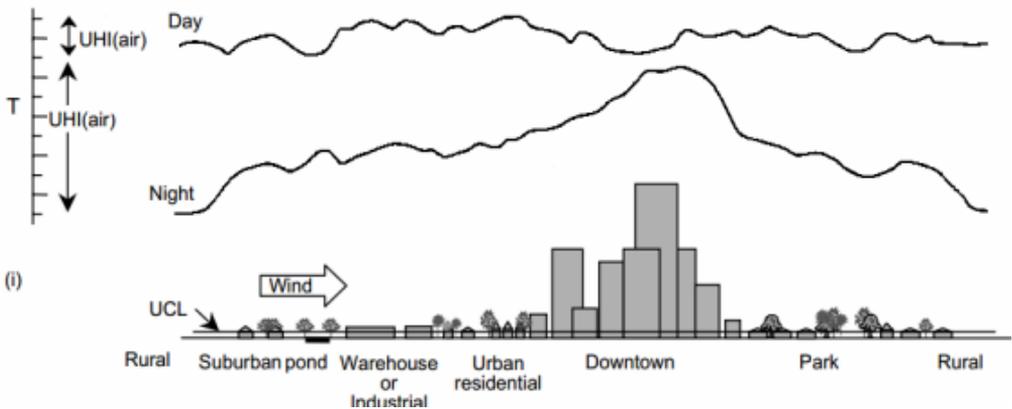


Figura 4 Temperature e intensità dell'isola di calore dello strato della copertura urbana (CLUHI) in condizioni "ideali" durante il giorno e la notte (Voogt 2000a)

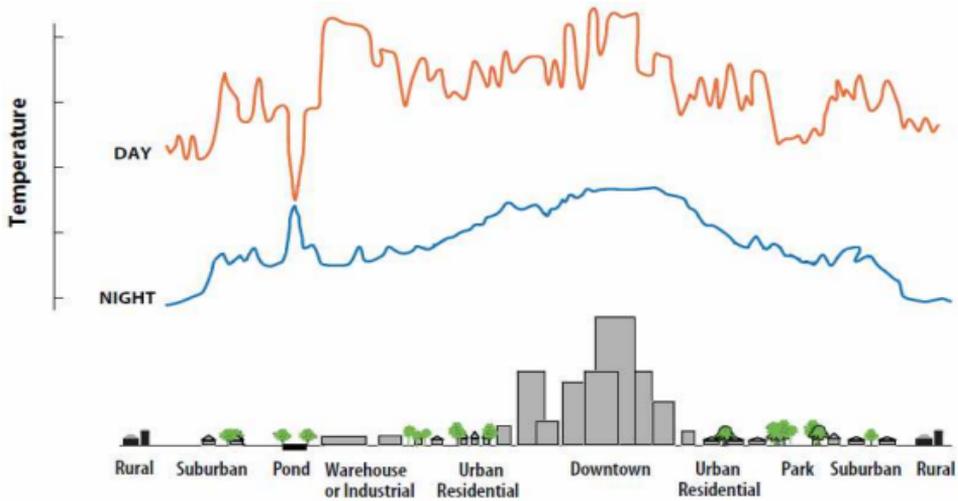


Figura 5 Temperature epidermiche diurne e notturne in aree con diverso utilizzo del suolo (Voogt 2000a)

Le diverse tipologie di isole di calore sono correlate tra di loro, inoltre, è importante distinguerle nel momento in cui si effettua un'analisi del fenomeno perché differiscono per origine, tecniche di misurazione e dinamiche temporali. In ragione delle diverse tipologie di UHI, in un quadro scientifico di riferimento i metodi di misurazione utilizzati sono differenti al fine di ottenere i dati sulla temperatura così come si riporta anche nella figura 6 (Render et al., 2018; Gray 2019).

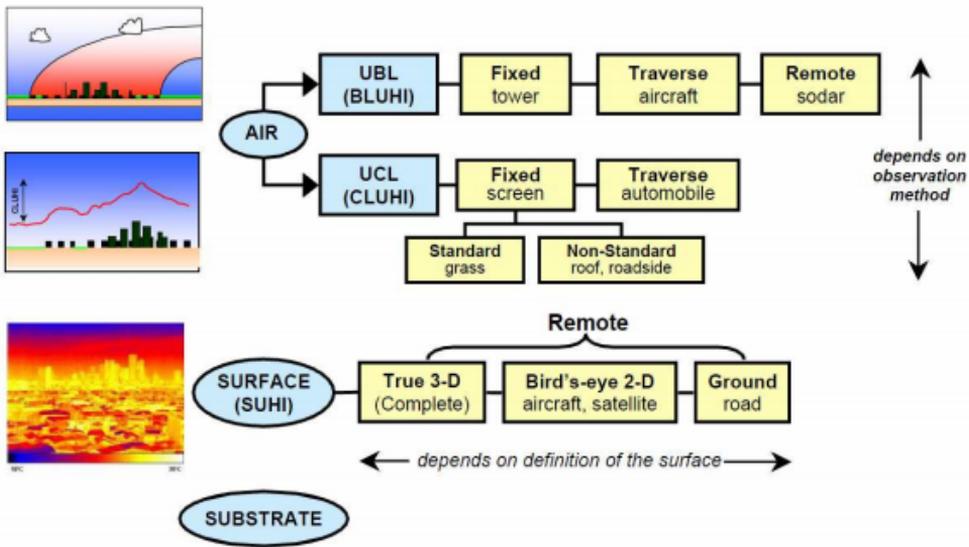


Figura 6 Modalità di rilevamento delle varie tipologie di UHI (Voogt, 2006).

L'isola di calore atmosferica viene misurata o utilizzando dei termometri tradizionali a postazione fissa (su torri e piloni a sonda situate in prossimità del suolo) o a postazione mobile (su aerei e automobili). La Urban Boundary Layer (UBL) è possibile misurarla attraverso uno strumento meteorologico in grado di valutare il profilo di temperatura verticale a diverse quote sopra il livello del suolo tramite l'utilizzo di onde sonore, ad esempio un Sondar. Le Urban Canopy Layer (UCL) possono essere rilevate mediante autovetture o una rete di sensori posizionati nelle aree urbane. Il campionamento tramite autovettura fornisce un quadro sulla temperatura dell'aria al di sopra della superficie stradale, diversamente dai sensori che riescono a fornire una raccolta dati delle temperature più approfondita ed ampia. La Surface UHIs possono essere misurate sia con metodi diretti e indiretti. La misurazione delle Surface UHIs con tecniche dirette, utilizza termocoppie o termoresistenze utili a reperire dati sulle temperature in aree urbane limitate. Per l'analisi di zone più ampie vengono spesso utilizzate le tecniche di telerilevamento che sono una modalità di misurazione indiretta e che stimano la temperatura delle superficie attraverso le radiazioni infrarosse; i dati possono essere rilevati da satelliti, da aerei o da postazioni in prossimità del suolo. Se i dati provengono da sensori posizionati a terra il piano esaminato è solamente il suolo, se vengono

utilizzate tecniche di telerilevamento satellitare o aereo non tutte le superfici presenti sono osservabili. I metodi di rilevazione indiretta consentono di reperire un range di dati più ampio da poter mappare. Quando le informazioni provengono da una piattaforma satellitare le immagini rivelano l'alterazione delle città rispetto alle zone circostanti, quando provengono da una ricognizione aerea illustrano il comportamento dei diversi elementi urbani; il differente posizionamento degli strumenti comporta chiaramente una diversa risoluzione spaziale delle immagini ricavate (Khan et al., 2020; Imhoff et al., 2010; Tran et al., 2006) e fornisce un database di dati diverso. Il presentarsi delle diverse forme di isole di calore dipende fortemente dalla forma degli edifici, la loro altezza, i differenti materiali impiegati per la costruzione di tessuti urbani e le attività quotidiane influenzano il microclima urbano. Gli effetti riguardano lo stravolgimento dei processi di evapotraspirazione, di assorbimento delle radiazioni e della circolazione dei venti. Nel dettaglio, alcuni contributi scientifici esaminano caratteristiche dei materiali come la capacità e conducibilità termica, la maggiore o minore permeabilità, la riflettività ed emissività dei materiali sugli edifici. Ad esempio, la capacità termica dei materiali misura quanto l'involucro edilizio è in grado di conservare calore; la conducibilità termica indica invece la proprietà dei materiali di condurre il calore. Queste proprietà prescindono dal colore delle superfici e sono funzione del tipo di materiale utilizzato. Sono elementi utili da considerare, soprattutto in una prospettiva di efficienza energetica degli insediamenti urbani. Inoltre, in molti centri storici italiani i materiali di pavimentazione delle strade (pietre levigate, acciottolato ecc.) possiedono buone caratteristiche di permeabilità perché limitano il deflusso, favoriscono l'assorbimento delle acque meteoriche e, per l'alta traspirabilità, consentono di mantenere costante lo scambio termico tra la superficie e l'aria. La pavimentazione con pietre levigate ha, come proprietà significativa, la caratteristica di non surriscaldarsi e di non raggiungere temperature superiori di 40 gradi rispetto all'ambiente circostante (Gartland, 2008). Ciò non avviene per l'asfalto e molti altri materiali impermeabili, i quali peraltro rilasciano lentamente il calore accumulato nelle ore diurne e contribuiscono ulteriormente al perdurare dell'effetto "isola di calore" nelle ore notturne.

Un'ulteriore causa del manifestarsi del fenomeno delle isole di calore è dovuta alla disposizione e alla forma degli edifici rispetto agli spazi aperti circostanti. Nelle grandi

metropoli, in presenza di edifici molto alti, lo spazio che intercorre tra le facciate degli edifici diventano dei *canyon*. La predominanza delle altezze degli edifici sugli spazi aperti (strade e spazi collettivi) consente una riduzione dello Sky View Factor (ovvero il rapporto tra spazio costruito e spazio aperto) favorendo una maggiore ombreggiatura della superficie, ma al contempo favorisce assorbimento di radiazione solare rilasciata dal piano stradale e dalle facciate degli edifici, determinando in ogni caso un effetto "isola di calore". Alcuni studiosi affermano che l'intensità dell'UHI dipende fortemente dalla forma dell'edificio attraverso il rapporto H/W, aspect ratio, in cui H è l'altezza degli edifici e W è la distanza tra i fronti (Leconte et al., 2015; Memon et al., 2010). Di contro, gli elevati valori dello Sky View Factor comportano, da un lato, un aumento della temperatura dell'aria durante il giorno e, dall'altro, la mancanza di ostacoli fisici alla dispersione del calore accumulato favorendo un abbassamento delle temperature più repentino durante le ore serali-notturne generando un fenomeno di trade-off tra benessere termico diurno e notturno, ma in realtà il fenomeno è molto più complesso sul disegno urbano. L'utilizzo di simulazione tridimensionale dello Sky View Factor (Kolkotroni e Giridharan 2008) può essere utile a comprendere un maggior numero di relazioni presenti nelle aree urbane rispetto all'aspect ratio che tiene conto solo di due variabili (altezza dell'edificio e distanza dei fronti). Inoltre, le città stesse producono calore attraverso le attività quotidiane generando un calore di origine antropica che comporta un'ulteriore alterazione del microclima urbano. Le principali fonti di calore antropiche sono rappresentate dalle attività nei settori civili, industriali e dei trasporti. Le emissioni di calore antropiche sono estremamente mutevoli e possono variare nel corso del tempo e delle stagioni. Le emissioni di calore antropogenico variano a seconda della dimensione delle città, delle caratteristiche climatiche, della struttura dei trasporti, dai materiali costruttivi degli involucri edilizi e dalla maggiore/minore presenza di attività industriali. Tali caratteristiche incidono su riscaldamento e raffrescamento degli edifici e sui processi di trasformazione (in ambito industriale).

Nei climi più freddi il calore antropogenico aumenta durante l'inverno; viceversa, nei climi più caldi il ricorso a esigenze di raffrescamento durante la stagione estiva rappresenta una delle principali cause dell'acuirsi del fenomeno "isola di calore" (Gartland, 2008). L'aumento dell'intensità UHI, possono influire negativamente sul

benessere dei cittadini in vari modi. Forti ondate di calore, spesso concomitanti con un intenso UHI, possono aumentare la richiesta di aria condizionata negli edifici, specialmente tra le persone che sono più sensibili al calore (in particolare anziani e bambini) (Dhalluin & Bozonnet, 2015). L'aumento del consumo di energia come risultato dell'eccessivo utilizzo dei sistemi di condizionamento d'aria meccanici per far fronte allo sviluppo accelerato degli UHI è uno dei principali fattori di crisi. Il conseguente aumento della temperatura dell'aria può avere un impatto negativo sul 'microclima' all'interno delle città rispetto alle aree rurali (O'Malley et al., 2015, Radhi et al., 2015), con la formazione di ozono a livello del suolo (Kleerekoper et al., 2012), cambiamento del micro e macroclima locale (cioè modelli di vento, alterazioni dell'umidità, tempeste, inondazioni e cambiamenti negli ecosistemi locali) (O'Malley et al., 2015). L'attenzione al problema evidenzia la necessità di introdurre strategie, azioni e interventi sulle isole di calore urbano.

1.3 Ondate di calore nelle aree urbane: un framework scientifico

Il manifestarsi dell'effetto dell'isola di calore urbana, come illustrato nel paragrafo precedente, è dovuto alla incontrollata crescita delle aree urbane (urbanizzazione), ai cambiamenti strutturali e di consumo del suolo, nonché all'industrializzazione (O'Malley et al., 2015) che hanno incrementato la generazione di calore antropogenico aumentando il manifestarsi di tale fenomeno (Stewart e Oke, 2012, Tzavali et al., 2015). Questo paragrafo ha come obiettivo l'illustrazione di come, nella letteratura scientifica, è stato affrontato il tema dell'isola di calore urbano e di evidenziare le differenti correnti di pensiero che si sono manifestate in ambito scientifico. La letteratura attuale è arricchita con una serie di articoli di revisione sull'effetto UHI, come mostrato in Tabella 1. Nel dettaglio, la tabella mostra i principali studi sulla tematica che vanno dal 2003 al 2020 delineando i filoni di ricerca sul tema e gli obiettivi/risultati a cui finora la letteratura scientifica è giunta.

Tuttavia, questi studi si concentrano sia su fattori che contribuiscono all'effetto UHI che sulle tecniche e metodi per rilevare e misurare l'intensità di tale fenomeno, evidenziando l'importanza di politiche e pratiche appropriate per le città sia in termini di mitigazione delle UHI che di adattamento degli impatti sul costruito.

Filoni di ricerca sul tema delle Isole di Calore Urbano (UHI)

Primo filone di ricerca Metodi e tecniche per rilevare le temperature e l'intensità delle isole di calore urbano (UHI)

Citazioni	Obiettivi del lavoro di ricerca
Shirani-Bidabadi et al., 2019	L'isola di calore urbana (UHI) può essere identificata e analizzata mediante telerilevamento termico. Nel presente studio, le immagini satellitari del Landsat 7 ETM + (1999 e 2006) e del Landsat 8 (2013 e 2016) sono state utilizzate per recuperare la temperatura della superficie terrestre (LST) di Isfahan in Iran mediante l'algoritmo. L'analisi dei livelli termici ha mostrato un aumento della temperatura minima del 2016 rispetto al 1999.
Yue et al., 2019	Revisione delle intensità UHI diurne e stagionali in 36 città in Cina rispetto alle configurazioni urbane. In ogni città, le mappe della copertura del suolo urbano sono state classificate dal Landsat 8. Le UHI sono state quantificate utilizzando la temperatura della superficie terrestre dello spettro radiometro di imaging a risoluzione moderata (MODIS).
Mohamed et al., 2017	Revisione del background teorico delle diverse misure utilizzate per stimare la temperatura della superficie terrestre (LST) attraverso spettri elettromagnetico.
Tomlinson et al., 2011	Revisione di diversi satelliti e dei loro sensori per catturare la radiazione elettromagnetica utilizzata per derivare LST nel contesto della meteorologia e della climatologia.
Mirzaei & Haghighat, 2010	Revisione degli approcci (es. Modellazione, previsione e mitigazione) utilizzati per studiare l'UHI.
Weng, 2009	Revisione delle pratiche esistenti (metodi, tecniche, applicazioni) utilizzate negli studi UHI insieme ai loro problemi e prospettive.
Weng & Larson 2005b	Revisione delle pratiche delle tecniche di telerilevamento satellitare utilizzate negli studi UHI.
Voogt & Oke 2003	Revisione dell'applicazione del telerilevamento termico con particolare enfasi sull'effetto UHI.
Stefanov & Brazel, 2007	Revisione delle diverse scale temporali e spaziali utilizzate in climatologia e dei fattori di base che influenzano il clima urbano e come la tecnica del telerilevamento sta contribuendo per le UHI.

Secondo filone di ricerca
Le caratteristiche urbane che influiscono sul fenomeno delle isole di calore urbano

Citazioni	Obiettivi del lavoro di ricerca
Gago et al., 2013	Revisione delle diverse strategie politiche che possono essere applicate per mitigare l'effetto UHI.
Santamouris, 2014	Revisione delle tecnologie utilizzate per aumentare l'albedo delle città (es. Tetti verdi) per mitigare l'effetto UHI.
Rizwan et al., 2008	Una revisione sulla determinazione e mitigazione dell'isola di calore urbana.
Lin et al., 2017	Una revisione della letteratura sugli indicatori di progettazione urbana che affrontano l'impatto della geometria e della vegetazione urbane sull'ambiente termico esterno a livello pedonale, poiché la geometria e la vegetazione urbane sono state considerate i fattori di progettazione urbana più influenti e che a sua volta influenzano il microclima esterno.
Tzavali et al., 2015	Una revisione della letteratura dell'effetto Urban Heat Island (UHI) in tutto il mondo con l'obiettivo principale di segnalarne l'intensità e comprenderne le caratteristiche urbane.
Cui et al., 2017	Questo studio fornisce approfondimenti sull'UHI di Pechino e raccomandazioni per migliorare la progettazione degli edifici e il processo decisionale tenendo conto del microclima urbano.
Leal et al., 2018	Questo studio fornisce una revisione dei fenomeni di (UHI) e un'analisi di come le città sono vulnerabili ad esso. In particolare, descrive la vulnerabilità a tale fenomeno della Germania e dell'Australia. La definizione dei fattori di vulnerabilità UHI esistenti vengono analizzate per evidenziare caratteristiche e differenze comuni. Nel dettaglio, si definiscono i ranking dei parametri di adattabilità per supportare le valutazioni di vulnerabilità. Infine, si discute anche gli attuali approcci di mitigazione menzionati in letteratura e come questi affrontano alcune vulnerabilità.
O'Malley et al., 2015	Lo studio evidenzia come mitigare gli effetti dell'UHI può aiutare a ridurre i danni del cambiamento climatico. Questo documento si propone di stabilire strategie di mitigazione UHI, la loro efficacia e resilienza per aiutare a fornire dei suggerimenti per l'applicazione di tali strategie in futuro nei diversi contesti territoriali.

Tabella 1 Revisione dei principali studi della letteratura scientifica sulle UHI

I due filoni di ricerca evidenziano due differenti correnti di pensiero su come la tematica è stata sviluppata in questi ultimi anni. Un primo filone di ricerca si è occupato di studiare come rilevare il fenomeno delle isole di calore in un settore scientifico della climatologia. Nel dettaglio, tali studi mirano ad avere un quadro completo di dati atmosferici (come la temperatura, pressione dell'aria, precipitazioni) che si registrano nei diversi periodi dell'anno. In particolare, la comunità scientifica da anni cerca di introdurre tecniche quanto più precise e possibili per il reperimento di dati atmosferici, in particolare le temperature della superficie terrestre (LST) (Mirzaei e Haghghat, 2010). Ad esempio, i sensori a media risoluzione spaziale come l'Advanced Space-Borne Thermal Emission and Reflection Radiometer e la serie Landsat offrono un'opzione praticabile per la valutazione dell'LST soprattutto all'interno dei paesaggi urbani. Inoltre, tali studi evidenziano anche le tecniche di convalida dell'LST stabilendo i requisiti per la configurazione temporale e spaziale dell'LST.

Un secondo filone di ricerca, più affine al settore scientifico del governo delle trasformazioni urbane e territoriali, ha condotto le proprie indagini sulla morfologia dei territori urbani che possono influire sul manifestarsi delle isole di calore urbano.

In gran parte di questi studi, i ricercatori esaminano su due diverse scale micro e macro le caratteristiche urbane. Gli studi ad una scala macro hanno esaminato caratteristiche come la sua dimensione, il livello di compattezza dei tessuti urbani, uso del suolo, presenza di superfici impermeabili, presenza di canyon urbani, o dispersione ed estensione del suo sviluppo infrastrutturale. Al contrario, la forma micro-urbana riguarda le caratteristiche della città a scala di quartiere o di distretto, come densità e altezza degli edifici, street trees, aspect ratio e caratteristiche del design urbano che influiscono sull'aumentare del fenomeno dell'isola di calore urbano al fine di fornire strategie ed interventi di mitigazione di tale fenomeno e in alcuni casi di adattamento.

I diversi filoni di ricerca evidenziano al contempo che il tema delle UHI è stato affrontato con due correnti di pensiero. La prima, pone la sua attenzione su metodi e tecniche di rilevamento del fenomeno come temperatura massima, minima, media, umidità dell'aria con l'obiettivo di fornire mappa climatiche su diverse contesti territoriali. La seconda, volta a definire le caratteristiche urbane che influiscono sul manifestarsi del fenomeno dell'isola di calore con l'obiettivo di definire un panel di strategie ed azioni per ridurre il

fenomeno orientate in gran parte alla mitigazione, data anche la moltitudine di finanziamenti e risorse stanziare da parte della comunità europea verso un modello di città a basse emissioni di carbonio. Solo oggi, davanti anche a uno scenario di tipo pandemico, la comunità scientifica ha iniziato, quindi, ad analizzare le relazioni tra le caratteristiche urbane e gli impatti climatici delle città (De Silva et al.,2012). L’emanazione dell’ultimo documento da parte della commissione europea conferma questa tendenza attraverso l’emanazione del documento “Plasmare un’Europa resiliente ai cambiamenti climatici – La nuova strategia dell’UE di adattamento ai cambiamenti climatici”. La strategia indica priorità trasversali come: (i) sviluppare soluzioni basate al miglioramento dell’ ambiente urbano, che siano ad ampio raggio, con effetti multi-beneficio e moltiplicatori a sostegno di diversi obiettivi del Green Deal europeo, quali la tutela e il ripristino della biodiversità, la regolarizzazione del ciclo dell’acqua mitigando gli effetti della siccità e dei fenomeni alluvionali; (ii) intervenire con azioni locali, poiché le stesse rappresentano la base e la messa in pratica delle azioni di adattamento.

1.4 La vulnerabilità dei sistemi urbani: modelli e approcci per misurarla

I maggiori contributi scientifici relativi allo studio delle caratteristiche urbane che mirano ad individuare un panel di strategie ed interventi in un’ottica di mitigazione o adattamento al fenomeno delle isole di calore impiegano come metodo e approccio allo studio delle UHI la misurazione e la definizione della vulnerabilità di un sistema urbano. Inoltre, la scelta di esaminare il fenomeno delle UHI attraverso la vulnerabilità costituisce l’approccio maggiormente affine alla visione olistica e sistemica di guardare alla città. Un sistema urbano è vulnerabile se a sua volta risulta suscettibile agli effetti negativi dei cambiamenti climatici e non è in grado di affrontarli. Il termine “vulnerabilità” è entrato negli ultimi dieci anni a far parte del bagaglio concettuale ed operativo nelle analisi di rischio dei cambiamenti climatici. Tale concetto, così come oggi intenso in ambito scientifico, costituisce uno degli esiti dell’applicazione dell’approccio sistemico allo studio, ovvero, orientato ad indagare le relazioni esistenti tra variazioni di alcune caratteristiche dei sistemi analizzati, fattori di vulnerabilità e livello delle interrelazioni tra parti di sistemi complessi. A partire dagli anni Ottanta, molte sono state le eccezioni del termine “vulnerabilità”. Alcuni studiosi hanno messo a punto analisi sugli effetti indotti da eventi

calamitosi sui sistemi urbani. Alcune ricerche, invece, hanno posto l'accento sul nesso tra la modalità di uso del territorio e propensione al rischio dei sistemi analizzati, contribuendo a far emergere la necessità di un approccio integrato al governo delle trasformazioni urbane e territoriali orientato al conseguimento degli obiettivi posti sul cambiamento climatico. Inoltre, all'interno degli studi della letteratura scientifica di riferimento esiste una distinzione condivisa tra la vulnerabilità fisica, riferibile alla propensione del danno dei singoli elementi dei sistemi territoriali, e la vulnerabilità sistemica, intesa come la propensione al danno di un sistema territoriale nel suo complesso. Quest'ultima viene generalmente espressa come funzione della capacità di un sistema di anticipare, far fronte ad esempio, all'intensità dell'isola di calore urbano. Tale concetto di vulnerabilità sottolinea la sua dimensione dinamica e variabilità nel tempo. La vulnerabilità sistemica può essere considerata come risultante dell'azione di più fattori ed in alcuni casi dalle condizioni sociali ed economiche di contesto, rendendo così evidente la multidisciplinarietà del concetto stesso applicato ad un sistema urbano. Nonostante ancora oggi sembra difficile definire un approccio condiviso allo studio della vulnerabilità delle aree urbane, tuttavia, ha contribuito a comprendere la complessità dei fenomeni urbani soprattutto nell'interazione utente-sistema urbano (Tran et al., 2006). Nel glossario dei rischi dell'Università delle Nazioni Unite, Thywissen (2006) definisce: *"la vulnerabilità come una caratteristica dinamica e intrinseca di qualsiasi comunità (o famiglia, regione, stato, infrastruttura o qualsiasi altro elemento a rischio) che comprende una moltitudine di componenti. La misura in cui viene rivelata è determinata dalla gravità dell'evento"*. Pertanto, la vulnerabilità non è una variabile fissa, ma è influenzata dalle azioni delle persone interessate. Ad esempio, se aumenta il potenziale di pericolo, aumenta anche la vulnerabilità; una migliore prevenzione dei pericoli, la vulnerabilità può essere ridotta (Johnson et al., 2012). Inoltre, le ricerche portate avanti dalla Banca mondiale (Mehrotra et al., 2009; Rosenzweig et al., 2011), definiscono il quadro della valutazione sia della vulnerabilità che dai rischi del cambiamento climatico come un mezzo propedeutico alle definizioni di strategie ed azioni di mitigazione e adattamento al cambiamento climatico. I differenti approcci sulla valutazione della vulnerabilità climatica non possono prescindere dallo studio dei framework che sono in continuo divenire. Nell'ambito degli studi relativi al Climate Change Adaptation (CCA), i

modelli più rilevanti sono quelli proposti dall'IPCC negli ultimi due Rapporti di Valutazione definiti come AR4 e AR5 così come si evince nella Figura 7. Nell'AR4 la vulnerabilità è espressa come il grado di suscettibilità del sistema o come l'incapacità di fronteggiare gli effetti avversi del cambiamento climatico. In questo caso viene espressa come il risultato del tipo e della magnitudo della variazione climatica a cui il sistema è esposto (esposizione/exposure), ma anche del grado con cui il sistema risulta interessato dall'evento, dipendente dai suoi attributi fisici e/o naturali (sensività/sensitivity), e della sua abilità di recuperare dal danno potenziale e trarre vantaggio dalle opportunità (capacità adattiva/adaptive capacity) (IPCC, 2007).

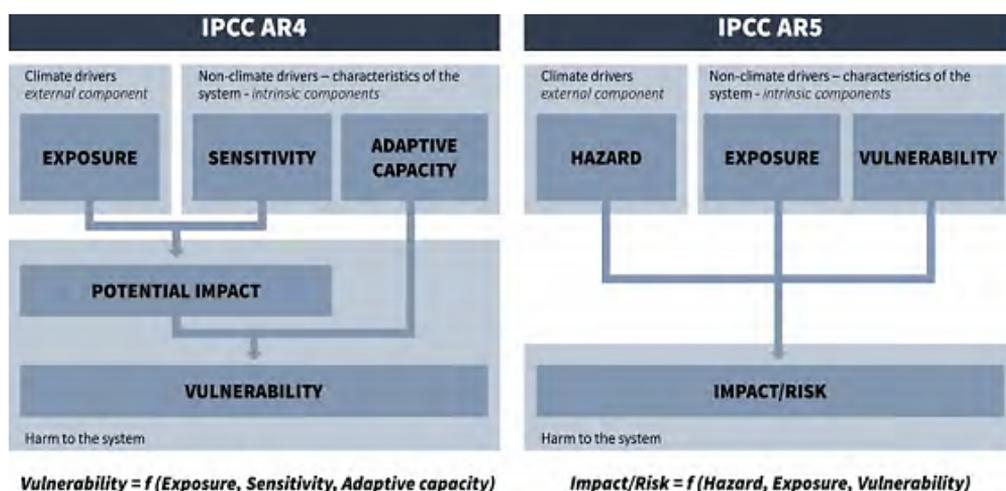


Figura 7 Modelli di valutazione dei rischi climatici dell'IPCC

La definizione delle componenti di sensitivity e adaptive capacity fornita dall'AR4 risulta essere affine al concetto di vulnerabilità nell'ambito del Disaster Risk Reduction (DRR), dove è definita come l'insieme delle condizioni determinate da caratteristiche o processi fisici, sociali, economici ed ambientali che incrementano la suscettibilità di individui, comunità, risorse o sistemi, agli impatti degli hazard (Riegel et al.,2013; Mehrotra et. al,2009). In linea con gli obiettivi della comunità europea, ovvero, di promuovere l'integrazione tra DRR e CCA, nell'AR5 l'IPCC adotta un nuovo approccio e una nuova terminologia, avvicinandosi al framework tipico del DRR.

Sebbene i termini adottati per descrivere la vulnerabilità siano diversi, le ipotesi di base seguono una logica simile (Fritzsche et al., 2014). Se si suppone che evento climatico potenzialmente pericoloso (in AR4, exposure - E; in AR5, hazard - H) colpisca un sistema

urbano provoca una minaccia per esso che nel modello AR4 è inteso come vulnerability – V mentre nel modello AR5, impatto/impact o rischio/risk – R. Tale situazione di stress sottoposta al sistema urbano può essere ridimensionata grazie a particolari attributi fisici o socioeconomici (in AR4, sensitivity, adaptive capacity; in AR5, exposure, vulnerability). L'esposizione, che nell'AR4 è considerata parte della vulnerabilità, nell'AR5 è intesa come una componente esterna, che concorre insieme ad essa e all'hazard nel determinare gli impatti. Sebbene i principali progetti europei scaturiti nell'ambito del Green Deal europeo evidenzino per lo studio degli impatti del cambiamento climatico in ambito urbano un'ampia adozione dell'approccio AR4, non è possibile trascurare il principale vantaggio legato allo sviluppo di modelli di vulnerabilità climatica coerenti con l'AR5 che sicuramente sono maggiormente impiegati nel campo della valutazione del rischio sismico, idrogeologico e vulcanico.

I decisori locali hanno il repentino compito di dover esaminare quali saranno i futuri cambiamenti climatici nella loro regione e identificare le cause della vulnerabilità urbana affinché si possano introdurre azioni e misure di adattamento. La comunità scientifica deve fornire le conoscenze necessarie utili a favorire azioni e interventi in un'ottica di adattamento. Questa base di conoscenza deve includere una chiara identificazione di aree particolarmente vulnerabili. Lo sviluppo di piani di adattamento climatico aiuterebbe le città a identificare meglio le località e i gruppi di popolazione a maggior rischio se giungono a una migliore comprensione delle "cause dell'eterogeneità spaziale intra-urbana" causate dalle isole di calore urbano (Walsh et al., 2011). Più in dettaglio, la vulnerabilità delle aree urbane alle UHI viene esaminata secondo le due componenti l'esposizione e la capacità di adattamento e una terza componente non meno importante come la suscettibilità degli utenti che costituisce la componente principale dato che le loro scelte e comportamenti hanno ripercussione sui sistemi urbani. Seppure le definizioni di esposizione e capacità di adattamento sembrano teoricamente chiare, gli studi di vulnerabilità analizzati danno interpretazioni differenti sulla classificazione dei parametri. Nello studio condotto per Londra (UK) da Wolf e McGregor, 2013, la sensitività degli utenti è considerata una conseguenza della capacità di adattamento (che dipende da dati demografici, stato di salute, accesso risorse, mobilità, accesso alle informazioni, accesso al supporto e al comportamento) e l'esposizione al calore include i parametri del

calore esterno alle aree urbane e interno agli edifici. Al contrario, nello studio sulle città australiane (Loughnan et al., 2012) vi è una maggiore discriminazione tra sensibilità e capacità di adattamento. Lo studio condotto da Inostroza, 2016, declina la vulnerabilità al calore come il prodotto degli effetti di esposizione, sensibilità e capacità adattiva al fine di identificare misure specifiche a differenti scale urbane per valutare la configurazione spaziale della vulnerabilità e le sue implicazioni socioeconomiche. Lo studio di Van der Hoeven and Wandl, 2014 e De Carolis, 2012 si concentra sulla valutazione dei fattori di rischio focalizzata principalmente sulla esposizione e sensibilità, lasciando capacità di adattamento come uno studio separato. Lo studio dei fattori legati alla vulnerabilità delle aree urbane costituisce il preludio per comprendere da un lato le caratteristiche urbane da dover considerare e dall'altro la misura utile a definire la propensione di un sistema urbano ad essere soggetto agli effetti del cambiamento climatico. È importante comprendere che la vulnerabilità nel tempo può variare data la dinamicità e complessità delle relazioni all'interno del sistema urbano e degli eventi. Negli ultimi anni, un ampio corpus scientifico è stato prodotto nel definire e mappare la vulnerabilità delle aree urbane alle UHI attraverso la messa a punto di indici compositi, oltre che individuare i fattori che influenzano la vulnerabilità agli eventi di calore estremo nelle città. La vulnerabilità è una funzione del carattere, dell'entità e della velocità del cambiamento climatico, nonché della variazione a cui è esposto un sistema, della sua sensibilità e della sua capacità di adattamento (Parry et al., 2007). Valutando la vulnerabilità al calore di diversi luoghi e popolazioni, i decisori locali possono indirizzare le risorse ai luoghi e alle popolazioni che sono a maggior rischio di essere colpiti dal caldo estremo. La letteratura pubblicata sulla vulnerabilità al calore è sostanziale (Chow et al., 2012; Hansen et al., 2013), ma le valutazioni quantitative sono relativamente rare e vengono tipicamente utilizzati metodi diversi per determinare l'indice di vulnerabilità al calore (HVI) (Rinner et al., 2015; Reid et al., 2009). Pertanto, è essenziale confrontare e rivedere questi studi per comprendere al meglio la costruzione dell'HVI. Per confrontare la vulnerabilità di diverse aree al caldo estremo e per intraprendere ulteriori analisi spaziali, l'HVI può essere mappato tramite l'utilizzo di sistemi informativi geografici (GIS). I ricercatori possono anche eseguire ulteriori analisi di autocorrelazione e analisi spaziali tramite GIS al fine di individuare le aree dove intervenire prioritariamente e il

relativo peso (Wolf et al., 2013). Secondo Bao et al. (2015) sono stati messi a punto circa 60 indici di vulnerabilità sviluppati secondo diverse prospettive come studi urbani, stress da calore urbano e pianificazione dei trasporti, con l'obiettivo di misurare il grado di vulnerabilità di un quartiere o di città. Tra tutti questi indici, questo lavoro prende in considerazione gli indicatori quantitativi più consolidati e utilizzati nella pratica per misurare la vulnerabilità delle aree urbane al fenomeno delle isole di calore fornendone una lettura comparata. Inoltre, sono stati selezionati anche dopo un'ampia revisione della letteratura quelli che possono rappresentare una panoramica equilibrata degli attuali metodi utili per misurare la vulnerabilità. La raccolta dei dati, i metodi e il livello spaziale di analisi hanno rappresentato gli aspetti chiave della revisione fornita. I maggiori contributi in letteratura scientifica per misurare la vulnerabilità di un sistema urbano a uno specifico fenomeno utilizzano metodi e approcci di statistica, quali la Principal Component Analysis (PCA) (Jolliffe, 1986). Tale approccio è adoperato in vari studi in cui è elaborata la stima della vulnerabilità di sistemi urbani a fenomeni climatici (ad esempio, in Zhu et al., 2014 e Wolf et al., 2013). In Wolf et al. (2013) viene definito un indice di vulnerabilità all'ondata di calore su un'area che si estende sulla Greater London. L'indicatore è definito utilizzando come metodo PCA per rappresentare un insieme di indicatori significativi quali: alta densità abitativa, fasce deboli di popolazione e fasce di povertà per ogni sezione di censimento. Inoltre, in Lemonsu et al. (2015) è stato proposto uno studio dell'impatto dell'ondata di calore sull'area urbana di Parigi, prendendo in considerazione cinque scenari di espansione urbana nel tempo, al variare delle condizioni climatiche. I risultati dello studio dimostrano che in aree urbane con alta concentrazione di abitanti l'impatto del fenomeno è maggiore. In Macnee et al. (2016) è applicato l'algoritmo PCA su otto variabili che influenzano la vulnerabilità del sistema urbano all'ondata di calore. L'analisi sperimentale è compiuta su un'area di studio che comprende la città di Osaka, in Giappone. Le otto variabili sono estratte dai dati relativi alla popolazione per zona censuaria e dai dati sull'uso del suolo. Le variabili che impattano maggiormente sulla vulnerabilità sono: l'età della popolazione, l'istruzione e la condizione sociale della popolazione e la densità o presenza di aree verdi. In Bao et al. (2015) è presentato uno studio condotto in 15 centri urbani in Europa e negli Stati Uniti relativo alla vulnerabilità all'ondata di calore dell'area urbana. Lo studio ha

evidenziato che gli indici di vulnerabilità prodotti nei diversi centri urbani sono differenti tra loro, mostrando che aree differenti sono correlate a situazioni locali differenti. È necessario, quindi, un'analisi a scala maggiore che permetta di valutare le caratteristiche specifiche che connotano il sistema urbano analizzato. Lo studio di Zhu et al. (2014) mira a definire un quadro di vulnerabilità comprendente dimensioni di esposizione, sensibilità e capacità di adattamento. È stato proposto un pool di indicatori dopo un'ampia revisione della letteratura, al contesto locale fornito dai tecnici del territorio locali e alla disponibilità dei dati. In particolare, il set di indicatori considerato per questo studio è di 46 indicatori (8 per l'esposizione, 21 per la sensibilità e 17 per la capacità di adattamento) come il conteggio delle ondate di calore, temperature minime e massime, tasso di alfabetizzazione, densità di popolazione anziana con l'obiettivo di definire il peso degli indicatori che sono stati utilizzati in un processo di gerarchia analitica (AHP) e un'analisi delle componenti principali. Partendo dai pesi dei singoli indicatori è stato definito un indice di vulnerabilità moltiplicativo (VI) costruito per ogni distretto / contea della provincia di Guangdong, Cina e normalizzato su una scala di valori da 0-1. Lo studio di Aubrecht et al. (2013), U.S. National Capital, mette a punto un indice composito che aggrega diversi indicatori come la presenza di aree verdi, stato di povertà della popolazione con le caratteristiche socioeconomiche della popolazione per valutare il rischio correlato al calore per la capitale nazionale degli Stati Uniti. Lo studio rivela come i modelli di rischio siano in parte determinati dalle variazioni geografiche della vulnerabilità, che mostrano generalmente una netta differenza tra aree urbane ad alto rischio e ampie aree a basso rischio negli ambienti suburbani e rurali. Una volta definito e selezionato il set di indicatori e elaborato i dati, si normalizzano i valori effettivi in posizioni relative comprese tra 0 e 1. Inoltre, in tale studio viene assunto che gli indicatori abbiano la stessa importanza e vengono ponderati allo stesso modo. I valori di tutti gli indicatori sono aggregati e nuovamente normalizzati per formare un indice composito di vulnerabilità allo stress da calore (HSVI) in un intervallo compreso tra 0 e 1. L'aggregazione quantitativa non ponderata si basa su un metodo di tipo additivo per poi effettuare la standardizzazione degli indicatori su una scala da 0-1. In questo studio di Manik & Tumiar Katarina (2017) e Hahn et al. (2009), hanno in primis utilizzato misurazioni dirette della temperatura dell'aria e l'osservazione satellitare per identificare

i fenomeni UHI. La vulnerabilità degli utenti è stata desunta attraverso l'utilizzo di questionari e interviste alle famiglie, le domande sono state adattate alle tre componenti della vulnerabilità: esposizione, sensibilità e capacità di adattamento. L'indice di vulnerabilità è composto da esposizione e sensibilità. L'esposizione è stata definita sulla base delle conoscenze della comunità sul cambiamento climatico, l'aumento della temperatura e la temperatura dell'aria osservata. La sensibilità è composta da disponibilità di acqua, salute legata all'aumento della temperatura, fabbisogno di energia elettrica e la capacità di adattamento, invece, da relazione sociale, istruzione, reddito e ambiente domestico. Per ciascun delle tre macro-categorie sono stati definiti i principali indicatori e sub indicatori. I diversi sub indicatori considerati sono stati normalizzati su una scala di valori da 0-1 al fine di delineare al contempo la media di ciascun sub-indicatore. Desunti tali valori è stato possibile definire il peso di ciascuno dei principali indicatori associati ai sub-indicatori delle tre macro-categorie. Tali fasi hanno costituito il punto di partenza per definire il fattore contributivo delle diverse componenti considerate. Il fattore contributivo è dato dal rapporto tra la media ponderata delle componenti principali moltiplicato e diviso per i pesi di ogni componente principale. In accordo con le teorie dell'IPCC, la vulnerabilità viene calcolata come la differenza tra l'esposizione e la capacità di adattamento il tutto moltiplicato per la sensibilità degli utenti. Le indagini condotte nello studio di Zhang et al. (2018), mira a mappare la vulnerabilità da calore urbano attraverso l'utilizzo di immagini raster secondo tre aspetti. L'indicatore generale di vulnerabilità al calore (GHVI) è stato calcolato su ciascun pixel del raster considerato in relazione alle sezioni di censimento della città di Sydney. Statistiche e analisi spaziali sono state utilizzate per indagare la performance tra questi tre indicatori. La standardizzazione di tali valori è stata utile a misurare la vulnerabilità su una scala da 1 a 100. Il framework degli indici di vulnerabilità evidenzia come il quadro concettuale relativo alla valutazione della vulnerabilità al calore urbano sia condiviso nell'ambito scientifico (Turner et al., 2003; Wilhelmi et al., 2010). Evince un pensiero univoco, di esaminare la vulnerabilità come una funzione di tre componenti interattive: esposizione, sensibilità e capacità di adattamento (Wilhelmi et al., 2010) in accordo con la definizione operativa dell'Intergovernmental Panel on Climate Change. Ogni componente, a sua volta, è definita da un set indicatori. Gli indicatori, data la loro diversa

natura, in gran parte degli studi vengono normalizzati al fine di definire una scala di misurazione. Alcuni studi, Vincent (2004, 2007) e Sullivan et al. (2002) suggeriscono di ricevere opinioni di esperti e discussioni con le parti interessate, rispettivamente, per determinare schemi di ponderazione di ciascuno degli indicatori considerati. Il campo della valutazione della vulnerabilità climatica deve mirare a quantificare il modo in cui le comunità è capace di adattarsi alle condizioni ambientali mutevoli. Altrettanto condiviso all'interno degli studi esaminati è di dover definire il ruolo di ciascuno degli indicatori presi in considerazione attribuendone un peso o attraverso l'utilizzo di metodo statistici (modelli di regressione multivariati, analisi multicriteria, logica fuzzy e analisi per componenti principali) o con le più recenti analisi statistiche di tipo spaziale (Eakin e Bojorquez-Tapia, 2008; Zhang et. al, 2018). Fussel e Klein (2006) suddividono gli indicatori di vulnerabilità in due generazioni. Gli indicatori di prima generazione hanno misurato la vulnerabilità in relazione all'esposizione esaminata a sua volta in relazione alle condizioni climatiche dell'area oggetto di studio mentre gli indicatori di seconda generazione tengono conto anche della capacità di adattamento dei tessuti urbani. Degli studi di seconda generazione, ci sono una moltitudine di interpretazioni su come applicare al meglio l'esposizione, la sensibilità e la capacità di adattamento concetti utili per quantificare la vulnerabilità (Ebi et al., 2006; Thornton et al., 2006). Lo studio di tali indici è utile a poter mappare la vulnerabilità, attraverso anche l'utilizzo di strumenti innovativi, con l'obiettivo di individuare le aree dove intervenire prioritariamente al fine di fornire un supporto alle decisioni per le pubbliche amministrazioni. Inoltre, gran parte degli studi prediligono l'utilizzo di immagini raster che posseggano un grado di risoluzione più dettagliato per definire la vulnerabilità di un territorio.

Riferimenti bibliografici

- Akbari, H., & Konopacki, S. (2005). Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies. *Energy policy*, 33(6), 721-756. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.10.001>
- An, E. U. (2013). Strategy on adaptation to climate change. *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM, 216*.
- Anderson, K., & Bows, A. (2008). Reframing the climate change challenge in light of post-2000 emissions trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 366, 3863-3882. <https://doi.org/10.1098/rsta.2008.0138>
- Arifwidodo, S., & Chandrasiri, O. (2015). Urban heat island and household energy consumption in Bangkok, Thailand. *Energy Procedia*, 79, 189-194. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.461>
- Aubrecht, C., Özceylan, D., Steinnocher, K., & Freire, S. (2013). Multi-level geospatial modeling of human exposure patterns and vulnerability indicators. *Natural Hazards*, 68(1), 147-163. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.03.005>
- Bai, X., Dawson, R. J., Ürge-Vorsatz, D., Delgado, G. C., Barau, A. S., Dhakal, S., ... & Roberts, D. (2018). Six research priorities for cities and climate change. *Nature*, 555(7694), 23-25. Retrieved from <https://www.nature.com/magazine-assets/d41586-018-02409-z/d41586-018-02409-z.pdf> (Last Access 29th August 2018)
- Balaganesh, G., Malhotra, R., Sendhil, R., Sirohi, S., Maiti, S., Ponnusamy, K., & Sharma, A. K. (2020). Development of composite vulnerability index and district level mapping of climate change induced drought in Tamil Nadu, India. *Ecological Indicators*, 113, 106197. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106197>
- Bao, J., Li, X., & Yu, C. (2015). The construction and validation of the heat vulnerability index, a review. *International journal of environmental research and public health*, 12(7), 7220-7234. <https://doi.org/10.3390/ijerph120707220>
- Bhattacharjee, S., Gerasimova, E., Imbert, C., Tencar, J., & Rotondo, F. (2019, June). Assessment of Different Methodologies for Mapping Urban Heat Vulnerability for Milan, Italy. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 290, No. 1, p. 012162). IOP Publishing. 10.1088/1755-1315/290/1/012162
- Biesbroek, G. R., Swart, R. J., & Van der Knaap, W. G. (2009). The mitigation-adaptation dichotomy and the role of spatial planning. *Habitat international*, 33(3), 230-237. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2008.10.001>
- Block, A. H., Livesley, S. J., & Williams, N. S. (2012). Responding to the urban heat island: a review of the potential of green infrastructure. *Victorian centre for climate change Adaptation research Melbourne*. ISBN:9780734048134
- C. Riegel, A. Trum, C. Maximini, D. Vallée Klimaschutzteilkonzept "Anpassung an den Klimawandel für die Städte Solingen und Remscheid (2013). Retrieved from: http://www.bergischesdreieck.de/fileadmin/user_upload/wirtschaftsregion/PDFs/Regionales_Klimaschutzteilkonzept_Klimawandel.pdf.pdf
- C. Rosenzweig, W.D. Solecki, S.A. Hammer, S. Mehrotra (Eds.), Climate change and cities first assessment report of the urban climate change research.
- Cancila, E., & Iraldo, F. (2011). Strategie per il clima: dalle regioni alle città. *Linee guida per lo sviluppo di politiche e azioni di riduzione dei gas serra nel governo del territorio*. Franco Angeli Editore. ISBN: 9788856845464

- Carter, J. G., Cavan, G., Connelly, A., Guy, S., Handley, J., & Kazmierczak, A. (2015). Climate change and the city: Building capacity for urban adaptation. *Progress in planning*, 95, 1-66. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2013.08.001>
- Chapman, S., Watson, J. E., Salazar, A., Thatcher, M., & McAlpine, C. A. (2017). The impact of urbanization and climate change on urban temperatures: a systematic review. *Landscape Ecology*, 32(10), 1921-1935. <https://doi.org/10.1007/s10980-017-0561-4>
- Chelleri, L., Favaro, A., Lucchitta, B., Raventos, J., & Fernandez, M. (2013). Dall'adattamento urbano al cambiamento climatico alla resilienza urbana: il caso di Barcellona, Spagna. *In Proceedings of the National Conference "Il clima cambia le città", Venice, May* (pp. 23-24)
- Chen, F., Yang, X., & Zhu, W. (2014). WRF simulations of urban heat island under hot-weather synoptic conditions: The case study of Hangzhou City, China. *Atmospheric research*, 138, 364-377. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.12.005>
- Chiesa, G., & Palme, M. (2018). Valutare la vulnerabilità urbana ai cambiamenti climatici e alle isole di calore urbano. *TECHNE: Journal of Technology for Architecture & Environment*, 15.
- Chow, W. T., Chuang, W. C., & Gober, P. (2012). Vulnerability to extreme heat in metropolitan Phoenix: spatial, temporal, and demographic dimensions. *The Professional Geographer*, 64(2), 286-302. <https://doi.org/10.1080/00330124.2011.600225>
- Corticelli, E., & Tondelli, S. (2018). Regenerating with the green: a proposal for the coastal landscape of Senigallia. *TRIA-Territorio della Ricerca su Insediamenti e Ambiente*, 11(1), 91-104. DOI 10.6092/2281-4574/5820
- Cui, Y., Yan, D., Hong, T., & Ma, J. (2017). Temporal and spatial characteristics of the urban heat island in Beijing and the impact on building design and energy performance. *Energy*, 130, 286-297. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.053>
- Da Silva J., Kernaghan S., Luque A. (2012). A systems approach to meeting the challenges of urban climate change. *International Journal of Urban Sustainable Development*, 4(2), 125-145.
- De Carolis, L. (2012). *The urban heat island effect in Windsor, ON: an assessment of vulnerability and mitigation strategies*. City of Windsor.
- Dhalluin, A., & Bozonnet, E. (2015). Urban heat islands and sensitive building design—A study in some French cities' context. *Sustainable Cities and Society*, 19, 292-299. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.06.009>
- Dienst, M., Lindén, J., Saladié, Ò., & Esper, J. (2019). Detection and elimination of UHI effects in long temperature records from villages—A case study from Tivissa, Spain. *Urban Climate*, 27, 372-383. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.12.012>
- Dodman, D., Bicknell, J., & Satterthwaite, D. (Eds.). (2012). *Adapting cities to climate change: understanding and addressing the development challenges*. Routledge.
- Dong, J., Lin, M., Zuo, J., Lin, T., Liu, J., Sun, C., & Luo, J. (2020). Quantitative study on the cooling effect of green roofs in a high-density urban Area—A case study of Xiamen, China. *Journal of Cleaner Production*, 255, 120152. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120152>
- Eakin, H., & Bojórquez-Tapia, L. A. (2008). Insights into the composition of household vulnerability from multicriteria decision analysis. *Global Environmental Change*, 18(1), 112-127. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2007.09.001>
- Ebi, K. L., Kovats, R. S., & Menne, B. (2006). An approach for assessing human health vulnerability and public health interventions to adapt to climate change. *Environmental health perspectives*, 114(12), 1930-1934. <https://doi.org/10.1289/ehp.8430>

- Emilsson, T., & Sang, Å. O. (2017). Impacts of climate change on urban areas and nature-based solutions for adaptation. In *Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas* (pp. 15-27). Springer, Cham.
- Estrada, F., Botzen, W. W., & Tol, R. S. (2017). A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts. *Nature Climate Change*, 7(6), 403-406. <https://doi.org/10.1038/nclimate3301>
- European Commission (2013b). *Commission Staff Working Document. Climate change adaptation, coastal and marine issues* (SWD(2013) 133 final). https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/adaptation/what/docs/swd_2013_133_en.pdf (Last Access 15th October 2018)
- Evola, G., Gagliano, A., Fichera, A., Marletta, L., Martinico, F., Nocera, F., & Pagano, A. (2017). UHI effects and strategies to improve outdoor thermal comfort in dense and old neighbourhoods. *Energy Procedia*, 134, 692-701. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.589>
- Füssel, H. M., & Klein, R. J. (2006). Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. *Climatic change*, 75(3), 301-329. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-0329-3>
- Gago, E. J., Roldan, J., Pacheco-Torres, R., & Ordóñez, J. (2013). The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 749-758. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.057>
- Gartland, L. (2008), Heat Islands. Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas. London: Earthscan
- Giridharan, R., & Kolokotroni, M. (2009). Urban heat island characteristics in London during winter. *Solar Energy*, 83(9), 1668-1682. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.06.007>
- Grafakos, S., Viero, G., Reckien, D., Trigg, K., Viguie, V., Sudmant, A., ... & Carter, J. (2020). Integration of mitigation and adaptation in urban climate change action plans in Europe: A systematic assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 121, 109623. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109623>
- Gray, A. R. (2019). Analyzing the urban heat island effect in the city of Westminster, Maryland, with attention to mitigative and adaptive measures. <http://library.towson.edu/digital/collection/etd/id/70413>
- Hahn, M. B., Riederer, A. M., & Foster, S. O. (2009). The Livelihood Vulnerability Index: A pragmatic approach to assessing risks from climate variability and change—A case study in Mozambique. *Global environmental change*, 19(1), 74-88. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.11.002>
- Hansen, A.; Bi, L.D.; Saniotis, A.; Nitschke, M. Vulnerability to extreme heat and climate change: Is ethnicity a factor? *Glob. Health Action* 2013, 6, 1–7. <https://doi.org/10.3402/gha.v6i0.21364>
- Heaviside, C., & Macintyre, H. (2019, January). The impact of the Urban Heat Island on heat related mortality in a European city, and potential benefits of adaptation measures. In *Geophysical Research Abstracts* (Vol. 21).
- Huong, H. T. L., & Pathirana, A. (2013). Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(1), 379-394.
- Imhoff ML, Zhang P, Wolfe RE, Bounoua L (2010) Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote Sens Environ* 114(3):504–513

- Inostroza, L., Palme, M., & de la Barrera, F. (2016). A heat vulnerability index: spatial patterns of exposure, sensitivity and adaptive capacity for Santiago de Chile. *PLOS one*, 11(9).
- IPCC 2007. Climate Change Glossary: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change
- IPCC 2013: Climate Change 2013 The Physical Science Basis. Retrieved from: https://www.cmcc.it/wp-content/uploads/2014/10/IPCC_WGI_AR5_SPM_brochure_ITA.pdf
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- IPCC, 2018: Global Warming of 1.5°C an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.
- Jamei, E., Rajagopalan, P., Seyedmahmoudian, M., & Jamei, Y. (2016). Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1002-1017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.104>
- Johnson, D. P., Stanforth, A., Lulla, V., & Lubber, G. (2012). Developing an applied extreme heat vulnerability index utilizing socioeconomic and environmental data. *Applied Geography*, 35(1-2), 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.04.006>
- Kaloustian, N., & Diab, Y. (2015). Effects of urbanization on the urban heat island in Beirut. *Urban Climate*, 14, 154-165. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.06.004>
- Kasperson, J.X.; Kasperson, R.E.; Luers, A.; et al. Illustrating the coupled human-environment system for vulnerability analysis: Three case studies. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2003, 100, 8080–8085. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231334100>
- Khan, A., Chatterjee, S., Leal Filho, W., Khatun, R., Dinda, A., & Minhas, A. (2020). City-scale Modeling of Urban Heat Islands for Kolkata. In *Climate Change, Hazards and Adaptation Options* (pp. 89-133). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37425-9_5
- Kim, S. W., & Brown, R. D. (2021). Urban heat island (UHI) intensity and magnitude estimations: A systematic literature review. *Science of The Total Environment*, 146389. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146389>
- Kleerekoper, L., Van Esch, M., & Salcedo, T. B. (2012). How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Resources, Conservation and Recycling*, 64, 30-38. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.004>
- Klimek, A., Ziogou, I., Michopoulos, A., Zachariadis, T., Gulma, S., Suhanova, D., ... & Jung-Waclik, S. (2019). Green roofs dissemination regarding their potential contribution in addressing the uhi effect. *Acta Innovations*, 2300, 71.
- Kolokotroni M. & Giridharan R. (2008). Urban heat island intensity in London: An investigation of the impact of physical characteristics on changes in outdoor air temperature during summer. *Solar Energy*, 82(11). <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.05.004>
- Lapola, D. M., Braga, D. R., Di Giulio, G. M., Torres, R. R., & Vasconcellos, M. P. (2019). Heat stress vulnerability and risk at the (super) local scale in six Brazilian capitals. *Climatic Change*, 154(3-4), 477-492. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02459-w>
- Laukkonen, J., Blanco, P. K., Lenhart, J., Keiner, M., Cavric, B., & Kinuthia-Njenga, C. (2009). Combining climate change adaptation and mitigation measures at the local level. *Habitat International*, 33(3), 287-292. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2008.10.003>

- Leal Filho, W., Icaza, L. E., Neht, A., Klavins, M., & Morgan, E. A. (2018). Coping with the impacts of urban heat islands. A literature-based study on understanding urban heat vulnerability and the need for resilience in cities in a global climate change context. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1140-1149. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.086>
- Leconte, F., Bouyer, J., Claverie, R., & Pétrissans, M. (2015). Using Local Climate Zone scheme for UHI assessment: Evaluation of the method using mobile measurements. *Building and Environment*, 83, 39-49. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.05.005>
- Lemonsu A., Vigiù V., Daniel M., Masson V. (2015), "Vulnerability to Heat waves: Impact of urban expansion scenarios on urban heat island and heat stress in Paris (France)", *Urban Climate*, n.14 (4), pp. 586-605. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.10.007>
- Lin, P., Gou, Z., Lau, S. S. Y., & Qin, H. (2017). The impact of urban design descriptors on outdoor thermal environment: A literature review. *Energies*, 10(12), 2151. <https://doi.org/10.3390/en10122151>
- Loughnan, M. E., Tapper, N. J., Lynch, K., McInnes, J., & Phan, T. (2012). A spatial vulnerability analysis of urban populations during extreme heat events in Australian capital cities. National Climate Change Adaptation Research Facility. ISBN 9781921609732
- Macnee R. G. D., Tokai A. (2016), "Heat wave vulnerability and exposure mapping for Osaka City, Japan", *Environment System and Decisions*, n.36, pp. 368-376. <https://doi.org/10.1007/s10669-016-9607-4>
- Madrigano, J., Ito, K., Johnson, S., Kinney, P. L., & Matte, T. (2015). A case-only study of vulnerability to heat wave-related mortality in New York City (2000–2011). *Environmental health perspectives*, 123(7), 672-678. <https://doi.org/10.1289/ehp.1408178>
- Manik, T. K., & Syaukat, S. (2014). The impact of urban heat islands: assessing vulnerability in Indonesia. International Institute for Environment and Development. ISSN 2231-4784
- McGranahan, G., Balk, D., & Anderson, B. (2007). The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment and urbanization*, 19(1), 17-37. <https://doi.org/10.1177/0956247807076960>
- Memon, R. A., Leung, D. Y., & Liu, C. H. (2010). Effects of building aspect ratio and wind speed on air temperatures in urban-like street canyons. *Building and Environment*, 45(1), 176-188. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.05.015>
- Mi, Z., Guan, D., Liu, Z., Liu, J., Vigiù, V., Fromer, N., & Wang, Y. (2019). Cities: The core of climate change mitigation. *Journal of cleaner production*, 207, 582-589. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.034>
- Mirzaei, P. A. (2015). Recent challenges in modeling of urban heat island. *Sustainable cities and society*, 19, 200-206. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.04.001>
- Mirzaei, P. A., & Haghghat, F. (2010). Approaches to study urban heat island-abilities and limitations. *Building and environment*, 45(10), 2192-2201. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.04.001>
- Mohamed, A. A., Odindi, J., & Mutanga, O. (2017). Land surface temperature and emissivity estimation for Urban Heat Island assessment using medium-and low-resolution space-borne sensors: A review. *Geocarto international*, 32(4), 455-470. <https://doi.org/10.1080/10106049.2016.1155657>
- Morris, K. I., Salleh, S. A., Chan, A., Ooi, M. C. G., Abakr, Y. A., Oozeer, M. Y., & Duda, M. (2015). Computational study of urban heat island of Putrajaya, Malaysia. *Sustainable Cities and Society*, 19, 359-372. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.04.010>

- Morris, K. I., Salleh, S. A., Chan, A., Ooi, M. C. G., Abakr, Y. A., Oozeer, M. Y., & Duda, M. (2015). Computational study of urban heat island of Putrajaya, Malaysia. *Sustainable Cities and Society*, *19*, 359-372. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.04.010>
- O'Malley, C., Piroozfar, P., Farr, E. R., & Pomponi, F. (2015). Urban Heat Island (UHI) mitigating strategies: A case-based comparative analysis. *Sustainable Cities and Society*, *19*, 222-235. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.05.009>
- Oke T.R.(1987),||Boundary Layer Climates||, pp. 262–303, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Oke TR. (1981b), —Canyon geometry and the nocturnal heat island: comparison of scale model and field observations||, *Journal of Climatology*, vol. 1, pp. 237–254. <https://doi.org/10.1002/joc.3370010304>
- Oke, T.R. (1981a), —The surface energy budgets of urban areas. In: Modeling the Urban Boundary Layer||, AMS, Boston.
- Ozceylan, D., & Coskun, E. (2012). The relationship between Turkey's Provinces' development levels and social and economic vulnerability to disasters. *Journal of Homeland Security and Emergency Management*, *9*(1). <https://doi.org/10.1515/1547-7355.1981>
- Parry, M.L.; Canziani, O.F.; Palutikof, J.P.; van der Linden, P.J.; Hanson, C.E. (Eds.) Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability; *Cambridge University Press: Cambridge*, UK, 2007; Volume 6.
- Parsaee, M., Joybari, M. M., Mirzaei, P. A., & Haghghat, F. (2019). Urban heat island, urban climate maps and urban development policies and action plans. *Environmental technology & innovation*, 100341. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100341>
- Phelan, P. E., Kaloush, K., Miner, M., Golden, J., Phelan, B., Silva III, H., & Taylor, R. A. (2015). Urban heat island: mechanisms, implications, and possible remedies. *Annual Review of Environment and Resources*, *40*, 285-307. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021155>
- Polsky, C., Neff, R., & Yarnal, B. (2007). Building comparable global change vulnerability assessments: The vulnerability scoping diagram. *Global environmental change*, *17*(3-4), 472-485. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2007.01.005>
- Privitera, R., Palermo, V., Martinico, F., Fichera, A., & La Rosa, D. (2018). Towards lower carbon cities: Urban morphology contribution in climate change adaptation strategies. *European Planning Studies*, *26*(4), 812-837. <https://doi.org/10.1080/09654313.2018.1426735>
- Priyadarsini, R. (2009). Urban heat island and its impact on building energy consumption. *Advances in building energy research*, *3*(1), 261-270. <https://doi.org/10.3763/aber.2009.0310>
- R. Leichenko Climate change and urban resilience. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *3* (3) (2011), pp. 164-168. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.12.014>
- Radhi, H., Sharples, S., & Assem, E. (2015). Impact of urban heat islands on the thermal comfort and cooling energy demand of artificial islands—A case study of AMWAJ Islands in Bahrain. *Sustainable Cities and Society*, *19*, 310-318. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.07.017>
- Rasul, A., Balzter, H., Smith, C., Remedios, J., Adamu, B., Sobrino, J. A., ... & Weng, Q. (2017). A review on remote sensing of urban heat and cool islands. *Land*, *6*(2), 38. <https://doi.org/10.3390/land6020038>

- Reckien, D., Salvia, M., Heidrich, O., Church, J. M., Pietrapertosa, F., De Gregorio-Hurtado, S., ... & Orru, H. (2018). How are cities planning to respond to climate change? Assessment of local climate plans from 885 cities in the EU-28. *Journal of cleaner production*, 191, 207-219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.220>
- Reder, A., Rianna, G., Mercogliano, P., & Castellari, S. (2018). Parametric investigation of Urban Heat Island dynamics through TEB 1D model for a case study: Assessment of adaptation measures. *Sustainable cities and society*, 39, 662-673. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.03.023>
- Reid, C.E.; O'Neill, M.S.; Gronlund, C.J.; Brines, S.J.; Brown, D.G.; Diez-Roux, A.V.; Schwartz, J. Mapping community determinants of heat vulnerability. *Environ. Health Perspect.* 2009, 117, 1730–1736. <https://doi.org/10.1289/ehp.0900683>
- Rinner, C., Patychuk, D., Bassil, K., Nasr, S., Gower, S., & Campbell, M. (2010). The role of maps in neighborhood-level heat vulnerability assessment for the city of Toronto. *Cartography and Geographic Information Science*, 37(1), 31-44. <https://doi.org/10.1559/152304010790588089>
- Rizwan, A. M., Dennis, L. Y., & Chunho, L. I. U. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of environmental sciences*, 20(1), 120-128. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)60019-4](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)60019-4)
- Rosenzweig, C., Solecki, W., Hammer, S. A., & Mehrotra, S. (2010). Cities lead the way in climate-change action. *Nature*, 467(7318), 909-911. doi: <https://doi.org/10.1038/467909a>
- S. Mehrotra, C. Natenzon, A. Omojola, R. Folorunsho, J. Gilbride, C. Rosenzweig. Framework for city climate risk assessment Fifth Urban Research Symposium, World Bank (2009). <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.365.4956&rep=rep1&type=pdf>
- Sabrin, S., Karimi, M., & Nazari, R. (2020). Developing Vulnerability Index to Quantify Urban Heat Islands Effects Coupled with Air Pollution: A Case Study of Camden, NJ. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(6), 349. <https://doi.org/10.3390/ijgi9060349>
- Santamouris, M. (2014). Cooling the cities—a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar energy*, 103, 682-703. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>
- Satterthwaite, D. (2008). Cities' contribution to global warming: notes on the allocation of greenhouse gas emissions. *Environment and urbanization*, 20(2), 539-549. <https://doi.org/10.1177/0956247808096127>
- Senigallia. *TRIA-Territorio della Ricerca su Insediamenti e Ambiente*, 11(1), 91-104.
- Sharp, E. B., Daley, D. M., & Lynch, M. S. (2011). Understanding local adoption and implementation of climate change mitigation policy. *Urban Affairs Review*, 47(3), 433-457. <https://doi.org/10.1177/1078087410392348>
- Shirani-Bidabadi, N., Nasrabadi, T., Faryadi, S., Larijani, A., & Roodposhti, M. S. (2019). Evaluating the spatial distribution and the intensity of urban heat island using remote sensing, case study of Isfahan city in Iran. *Sustainable cities and society*, 45, 686-692. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.12.005>
- Stathopoulou, M., & Cartalis, C. (2007). Use of satellite remote sensing in support of urban heat island studies. *Advances in Building Energy Research*, 1(1), 203-212. <https://doi.org/10.1080/17512549.2007.9687275>
- Stefanov, W. L., & Brazel, A. J. (2007). Challenges in characterizing and mitigating urban heat islands—a role for integrated approaches including remote sensing. In *Applied Remote*

- Sensing for Urban Planning, Governance and Sustainability* (pp. 117-135). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-68009-3_6
- Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879-1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., ... & Midgley, P. (2013). IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press. Retrieved from http://www.ipcc.ch/pdf/assessment_report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf
- Stone B. J. & Rodgers M. O. (2001). Urban Form and Thermal Efficiency: How the Design of Cities Influences the Urban Heat Island Effects. *Journal of the American Planning Association*, 67(2). doi:10.1080/01944360108976228
- Taleb, D., & Abu-Hijleh, B. (2013). Urban heat islands: Potential effect of organic and structured urban configurations on temperature variations in Dubai, UAE. *Renewable energy*, 50, 747-762. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.07.030>
- Tan, M., & Li, X. (2015). Quantifying the effects of settlement size on urban heat islands in fairly uniform geographic areas. *Habitat International*, 49, 100-106. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.05.013>
- Taylor, J., Wilkinson, P., Davies, M., Armstrong, B., Chalabi, Z., Mavrogianni, A., ... & Bohnenstengel, S. I. (2015). Mapping the effects of urban heat island, housing, and age on excess heat-related mortality in London. *Urban Climate*, 14, 517-528. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.08.001>
- The World Bank (2015). Climate Change and Adaptation in Cities: web toolkit. <http://www-esd.worldbank.org/citiesccadaptation/whyadapt.html>.
- Thornton, P. K., Jones, P. G., Owiyo, T. M., Kruska, R. L., Herrero, M., & Kristjanson, P. (2006). *Mapping climate vulnerability and poverty in Africa*. Report to the Department for International Development.
- Thywissen, K. (2006). *Components of risk: a comparative glossary*. UNU-EHS.
- Tomlinson, C. J., Chapman, L., Thornes, J. E., & Baker, C. (2011). Remote sensing land surface temperature for meteorology and climatology: A review. *Meteorological Applications*, 18(3), 296-306. <https://doi.org/10.1002/met.287>
- Tran, H., Uchiyama, D., Ochi, S., & Yasuoka, Y. (2006). Assessment with satellite data of the urban heat island effects in Asian mega cities. *International journal of applied Earth observation and Geoinformation*, 8(1), 34-48. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2005.05.003>
- Tzavali, A., Paravantis, J. P., Mihalakakou, G., Fotiadi, A., & Stigka, E. (2015). Urban heat island intensity: A literature review. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(12b), 4537-4554.
- UNEP. (2000). Assessing Human Vulnerability Due to Environmental Change. Concepts, Issues, Methods, and Case Studies.
- van der Hoeven, F., & Wandl, A. (2015). Amsterwarm: Mapping the landuse, health and energy-efficiency implications of the Amsterdam urban heat island. *Building Services Engineering Research and Technology*, 36(1), 67-88. <https://doi.org/10.1177/0143624414541451>
- Van Hove, L. W. A., Steeneveld, G. J., Jacobs, C. M. J., Heusinkveld, B. G., Elbers, J. A., Moors, E. J., & Holtslag, A. A. M. (2011). Exploring the urban heat island intensity of Dutch cities:

assessment based on a literature review, recent meteorological observation and datasets provide by hobby meteorologists.

- Van Leeuwen, C. J., Koop, S. H. A., & Sjerps, R. M. A. (2016). City Blueprints: baseline assessments of water management and climate change in 45 cities. *Environment, Development and Sustainability*, 18(4), 1113-1128. <https://doi.org/10.1007/s10668-015-9691-5>
- Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*, 86(3), 370-384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)
- Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*, 86(3), 370-384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)
- W.T.L. Chow, W.-C. Chuang, P. Gober Vulnerability to extreme heat in metropolitan phoenix: spatial, temporal, and demographic dimensions. <https://doi.org/10.1080/00330124.2011.600225>
- Walsh, C.L., Dawson, R.J., Hall, J.W., Barr, S.L., Batty, M., Bristow, A.L., Carney, S., Dagoumas, A.S., Ford, A.C., Harpham, C., Tight M., Watters, H., & Zanni, A.M. (2011). Assessment of Climate Change Mitigation and Adaptation in Cities. Proceedings of the ICE-Urban Design and Planning, 164(2), 75-84. <https://doi.org/10.1680/udap.2011.164.2.75>
- Weng, Q. (2009). Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4), 335-344. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.03.007>
- Weng, Q., & Larson, R. C. (2005). Satellite remote sensing of urban heat islands: current practice and prospects. In *Geo-spatial technologies in urban environments* (pp. 91-111). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-26676-3_10
- WHO (2010). *Hidden cities: Unmasking and overcoming health inequities in urban settings*. Technical Report. Geneva: World Health Organization.
- Wilhelmi, O.V.; Hayden, M.H. Connecting people and place: A new framework for reducing urban vulnerability to extreme heat. *Environ. Res. Lett.* 2010, 5, 014021.
- Wolf, T., & McGregor, G. (2013). The development of a heat wave vulnerability index for London, United Kingdom. *Weather and Climate Extremes*, 1, 59-68. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2013.07.004>
- Yow, D. M. (2007). Urban heat islands: observations, impacts, and adaptation. *Geography Compass*, 1(6), 1227-1251.
- Yue, W., Liu, X., Zhou, Y., & Liu, Y. (2019). Impacts of urban configuration on urban heat island: An empirical study in China mega-cities. *Science of the Total Environment*, 671, 1036-1046. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.421>
- Zhang, W., McManus, P., & Duncan, E. (2018). A raster-based subdividing indicator to map urban heat vulnerability: A case study in sydney, australia. *International journal of environmental research and public health*, 15(11), 2516. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112516>
- Zhao, M., Cai, H., Qiao, Z., & Xu, X. (2016). Influence of urban expansion on the urban heat island effect in Shanghai. *International Journal of Geographical Information Science*, 30(12), 2421-2441. <https://doi.org/10.1080/13658816.2016.1178389>
- Zhu, Q., Liu, T., Lin, H., Xiao, J., Luo, Y., Zeng, W., ... & Ma, W. (2014). The spatial distribution of health vulnerability to heat waves in Guangdong Province, China. *Global health action*, 7(1), 25051. <https://doi.org/10.3402/gha.v7>

CAPITOLO 2

ISOLE DI CALORE E ADATTAMENTO

2.1 Indirizzi europei per i processi di adattamento

Il cambiamento climatico è da tempo, oggetto di particolare attenzione da parte dell'Unione europea. Negli ultimi anni, si è puntato sempre più a introdurre strategie che mirano ad un impatto climatico pari a zero attraverso l'emanazione di una serie di documenti nel quadro della convenzione delle Nazioni Unite. In particolare, nel 2018 la Commissione Europea ha emanato il documento intitolato "una visione strategica di lungo termine per un'economia prospera, moderna, competitiva e a impatto climatico zero entro il 2050 – Un pianeta pulito per tutti". Tale documento mira non solo ad un futuro a impatto climatico zero in linea con l'obiettivo posto nell'accordo di Parigi, ovvero, di mantenere l'aumento di temperatura ben al di sotto di 2°C. Inoltre, evidenzia come l'Europa possa avere un ruolo guida per conseguire un impatto climatico zero, investendo in soluzioni tecnologiche realistiche, coinvolgendo i cittadini e armonizzando gli interventi in settori fondamentali, quali la politica industriale, la finanza o la ricerca. La strategia delinea come raggiungere questo obiettivo prendendo in considerazione tutti i settori economici chiave energia, trasporti, industria e agricoltura. Gli assi portanti di tale documento sono di (i) ottimizzare i benefici dell'efficienza energetica e l'impiego delle energie rinnovabili (ii) adottare una mobilità pulita, sicura e connessa (iii) contrastare il resto delle emissioni di CO₂ tramite il processo di cattura e stoccaggio del carbonio puntando ad un modello di città a basse emissioni di esso. Il ruolo dell'Unione Europea si è avvalorato nel voler raggiungere una neutralità climatica zero entro il 2050 con l'emanazione del Green Deal europeo. Il presidente della Commissione Europea Ursula von der Leyen definisce il Green Deal come "lo sbarco dell'uomo sulla luna". Una missione difficile, ma volta a voler migliorare lo stato di salute dell'ambiente e dei cittadini rendendo i propri Stati membri climate-neutral, riducendo le emissioni e le fonti di inquinamento e sviluppando una nuova economia capace di generare nuovi posti di lavoro.

Le azioni su cui si impianta il Green Deal possono essere raggruppate in cinque ambiti: *-la prima rivolta alla situazione climatica del nostro paese*. In particolare, l'Unione Europea punta a diventare climate-neutral, cioè a emissioni zero, entro il 2050 attraverso una legge comunitaria sul clima che non soltanto tradurrà in obblighi e prescrizioni questa volontà, ma indicherà la strada ai nuovi investimenti per enti e imprese;

-la seconda sull'energia. In questo ambito, l'obiettivo è la totale decarbonizzazione del sistema energetico europeo incitando agli stati membri di presentare i rispettivi piani nazionali per l'energia e il clima in accordo con il regolamento sulla governance dell'unione dell'energia e dell'azione per il clima;

-il terzo è rivolto agli edifici dato che il 40% del consumo energetico risulta essere nel campo dell'edilizia. Ristrutturare gli edifici con le tecnologie più avanzate permetterà ai cittadini di ridurre drasticamente i consumi energetici e al contempo di migliorare le prestazioni energetiche delle aree urbane. La Commissione applicherà rigorosamente la normativa relativa alla prestazione energetica nel settore dell'edilizia, a partire da una valutazione delle strategie nazionali di ristrutturazione a lungo termine degli Stati membri che sarà condotta nel 2020. La Commissione propone di collaborare con i portatori di interessi a una nuova iniziativa in materia di ristrutturazione nel 2020 e di prevedere dei regimi di finanziamento innovativi nell'ambito di InvestEU;

-la quarta nell'industria. Soltanto il 12% delle attività industriali europee impiega materiali riciclati nei processi produttivi. Per questo, il Green Deal europeo dovrà incentivare le innovazioni in tutti i settori industriali per realizzare progetti concreti di economia circolare; La quinta sulla mobilità. I trasporti sono all'origine del 25% delle emissioni di gas serra. Un'Europa più green non può prescindere da forme più sostenibili di mobilità pubblica e privata.

Gli ambiti in cui si muovono il Green Deal coinvolgono settori industriali, civili, enti di ricerca e punta proprio a sottolineare la necessità di adottare un approccio olistico in cui tutte le azioni e le politiche dell'UE contribuiscano ai suoi obiettivi al fine di migliorare la qualità urbana delle nostre città e degli utenti che la vivono. Gli ambiti in cui si basa tale documento erano già in parte definiti nella visione strategica emanata dalla commissione europea fornendoci maggiormente soluzioni pratiche ed interventi per migliorare le nostre città. Il Green Deal delinea anche il piano di finanziamento. Nel dettaglio, il piano di finanziamento prevede: (i) stanziare almeno 1000 miliardi di euro da erogare nei prossimi 10 anni come finanziamenti a sostegno di investimenti sostenibili; (ii) creare le condizioni affinché sia i privati sia il settore pubblico investa in iniziative sostenibili tali da intercettare questi incentivi; (iii) supportare le amministrazioni pubbliche e i promotori dei progetti per individuare, strutturare e rendere esecutivi tali progetti sostenibili.

L'emanazione degli ultimi documenti emanati in questi anni dalla Commissione Europea evidenzia come la moltitudine di finanziamenti, risorse stanziati presso università ed enti di ricerca, siano indirizzate verso strategie che mirano a mitigare gli effetti del cambiamento climatico. Le azioni di adattamento, in questi ultimi anni, sembrano essere passate in secondo piano, seppure la loro importanza se ne evince già dal 2010. Nel dettaglio, nel Cancun Adaptation Framework tenutosi nel 2010, si afferma che l'adattamento al cambiamento climatico è una priorità per ridurre le emissioni di gas a effetto serra nell'atmosfera. Un'azione potenziata sull'adattamento mira a ridurre la vulnerabilità e costruire la resilienza nei paesi in via di sviluppo, tenendo conto delle esigenze urgenti e immediate di quei paesi in via di sviluppo che sono particolarmente vulnerabili e sensibili al tema.

Le soluzioni di adattamento assumono molte forme, a seconda del contesto di una comunità, impresa, organizzazione, paese o regione. Non esiste un'unica soluzione adatta a tutti: l'adattamento può variare dalla costruzione di difese contro le alluvioni, dalla creazione di sistemi di allerta precoce per i cicloni e dalla realizzazione di piani di emergenza dalle forti ondate di calore, alla riprogettazione dei sistemi di comunicazione, delle operazioni commerciali e delle politiche governative. Molte nazioni e comunità stanno già prendendo provvedimenti per costruire società ed economie resilienti, ma sarà necessario un'azione e un'ambizione considerevolmente maggiori per gestire i rischi in modo economico, sia ora che in futuro. Il successo dell'adattamento non dipende solo dai governi ma anche dall'impegno attivo e sostenuto delle parti interessate, comprese le organizzazioni nazionali, regionali, settori pubblici e privati, e altre parti interessate, nonché una gestione efficace delle conoscenze. L'adattamento agli impatti dei cambiamenti climatici può essere intrapreso in varie regioni, settori e vari livelli. L'Unione europea ha iniziato a promuovere l'adattamento nel 2013, definendo delle strategie di adattamento dell'UE (Commissione Europea, 2013).

Nel dettaglio, l'UE ha introdotto una serie di azioni di *Adattamento* come:

(i) incoraggiare tutti gli Stati membri a adottare strategie di adattamento globali mettendo a punto degli orientamenti per l'elaborazione di strategie di adattamento volti a sostenere gli Stati membri dell'UE nello sviluppo, nell'attuazione e nella revisione delle rispettive politiche. Nel 2014 la Commissione ha definito un quadro comparativo sulla

capacità di adattamento, con l'obiettivo di individuare indicatori chiave per misurare il grado di preparazione degli Stati membri. Nel 2017, in base alle relazioni ottenute in conformità con il regolamento dell'UE di monitorare le emissioni di gas a effetto serra e al quadro comparativo sulla capacità di adattamento, la Commissione valuta se le azioni intraprese negli Stati membri sono sufficienti. Se riterrà che i progressi siano stati insufficienti, sulla base della portata e qualità delle strategie, la Commissione vaglierà immediatamente l'opportunità di proporre uno strumento giuridicamente vincolante;

(ii) rafforzare le azioni di adattamento in Europa con i fondi LIFE. La Commissione promuove l'adattamento soprattutto nelle seguenti aree vulnerabili con particolare attenzione alle aree ad alta densità abitativa e alle città costiere;

(iii) includere l'adattamento nel quadro del Patto dei sindaci. La Commissione, sulla base del modello dell'iniziativa del Patto dei sindaci, sosterrà le iniziative di adattamento nelle città, in particolare promuovendo l'impegno su base volontaria di adottare strategie di adattamento locali e attività di sensibilizzazione;

(iv) colmare le lacune nelle competenze. Per questo ultimo punto, le principali lacune a livello di competenze sono: (i) informazioni sui danni e sui costi e i vantaggi dell'adattamento; (ii) analisi e valutazione del rischio a livello regionale e locale; (iii) quadri di riferimento, modelli e strumenti a sostegno del processo decisionale e della valutazione dell'efficacia delle varie misure di adattamento; (iv) strumenti di monitoraggio e valutazione delle iniziative di adattamento già realizzate. Nel quadro di attuazione delle strategie, la Commissione continuerà a collaborare con gli Stati membri e con i soggetti interessati per colmare tali lacune di competenze e per individuare gli strumenti e le metodologie idonee a tal fine. Le relative conclusioni confluiranno nella programmazione di Orizzonte 2020 con la finalità di rispondere all'esigenze tra scienza, politica ed economia, nel coniugare le loro competenze e conoscenze. Le conclusioni saranno usate anche per migliorare le informazioni disponibili sulla piattaforma Climate-ADAPT. La Commissione promuoverà le valutazioni della vulnerabilità svolte a livello di UE, tenendo conto, tra l'altro della panoramica dei rischi naturali. La Commissione sosterrà in particolar modo il centro comune di ricerca nel suo intento di stimare le implicazioni dei cambiamenti climatici e rianalizzerà in modo approfondito il ruolo svolto dai cambiamenti climatici nell'UE. Queste attività confluiranno nelle relazioni di

valutazione integrata delle minacce e dei rischi ("Integrated threat and risk assessment reports" 2015).

(v) sviluppare ulteriormente la piattaforma Climate-ADAPT e farla diventare un punto di riferimento per le informazioni sull'adattamento in Europa. In particolare, l'attenzione viene rivolta alle valutazioni sui costi e i benefici delle diverse politiche adottate e al finanziamento dell'innovazione, puntando su una maggiore interazione con le autorità regionali e locali e con gli enti finanziari. Il quadro di valutazione dell'adattamento ai cambiamenti climatici risulta alquanto frammentario dal punto di vista del futuro delle città e delle questioni relative al clima (città intelligenti, città resilienti, città di transizione, città a bassa emissione di carbonio, ecc.). I diversi termini e gli approcci hanno portato ad una proliferazione di iniziative e strumenti, spesso poco coordinati tra stessi e poco integrati nei processi di organizzazione delle aree urbane. In più, l'adattamento dovrebbe essere implementato a livello locale considerato che gli impatti dei cambiamenti climatici sono vissuti localmente (Archer et al., 2014; Carter et al., 2015; Pelling, 2010).

In questo contesto, l'adattamento urbano rappresenta una nuova importante missione per il governo delle trasformazioni urbane e territoriali. Secondo la definizione dell'IPCC (IPCC, 2018), EEA (2012) e Carter et al. (2015), l'adattamento urbano può essere interpretato come un processo per aumentare la capacità adattativa delle città di far fronte all'impatto climatico e ridurre la vulnerabilità. Adattamento e vulnerabilità sono strettamente collegati. In effetti, la capacità di adattamento è una delle tre dimensioni della vulnerabilità (Garschagen, 2014; Hallegatte & Corfee-Morlot, 2011). Allo stesso tempo, l'adattamento urbano offre opportunità per uno sviluppo resiliente e sostenibile delle città. Il concetto di resilienza ha assunto un'importanza crescente nella definizione di adattamento urbano anche se il rapporto tra resilienza e adattamento non è ancora bene definito. Resilienza sembra essere un termine alla moda che non viene utilizzato in modo definito. Pertanto, la mancanza di una definizione condivisa riduce l'organizzazione dell'efficienza per l'adattamento urbano ai cambiamenti climatici (Giordano et al. 2019; Ng & Ren 2018). Da anni la comunità scientifica ha focalizzato l'attenzione sulle opportunità che un'integrazione tra i concetti di vulnerabilità e resilienza potrebbe avere nell'adattamento (tra cui Joakim et al., 2015). Anche se finora i concetti teorici di vulnerabilità e resilienza non sono stati concordati per sostenere lo sviluppo e

l'attuazione dell'adattamento urbano e nessun quadro giuridico li codifica. Nella pratica sono già stati realizzati piani e / o strategie di adattamento urbano. Negli ultimi anni, infatti, diverse città hanno iniziato a adottare specifiche strategie di adattamento al fine di affrontare gli impatti dei cambiamenti climatici. Alla luce di queste considerazioni, questa sezione fornisce un quadro sulle strategie di adattamento ai cambiamenti climatici sperimentate nel contesto nazionale con riferimento alle misure introdotte nelle città, ponendo un focus su uno dei cambiamenti climatici-le isole di calore urbano. In particolare, tali piani descrivono le relazioni tra le misure di adattamento e le caratteristiche urbane dell'area in cui dovrebbero essere attuate.

2.2 Strategie nazionali di climative-adaptation (PNACC)

In conformità delle direttive europee del 2018, è stato emanato, ma non ancora approvato il Piano nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici (Pnacc). La finalità principale del Piano è di delineare un quadro sulla vulnerabilità dei sistemi naturali, sociali ed economici agli impatti dei cambiamenti climatici migliorando l'adattabilità e la resilienza degli stessi. Il Piano, dal carattere non prescrittivo, vuole supportare, con azioni più adeguate ed efficaci, la pianificazione territoriale e di settore con l'obiettivo di integrare i criteri di adattamento ai cambiamenti climatici nelle procedure e negli strumenti già esistenti. Il piano si configura come un documento operativo che individua: (i) definizione delle aree climatiche omogenee secondo gli scenari; (ii) valutazione della vulnerabilità e degli impatti settoriali; (iii) identificazione di azioni di adattamento e individuazione della preferibilità relativamente alle diverse aree identificate; (iv) individuazione dei ruoli e delle responsabilità e degli strumenti di «governance» multilivello; (v) stima delle risorse umane e finanziarie necessarie; (vi) linee guida e indicatori per il monitoraggio e la valutazione dell'efficacia degli interventi. Per quanto concerne le aree climatiche il piano stesso suddivide la penisola italiana in sei macroregioni climatiche omogenee, i cui dati fanno riferimento al periodo dal 1981 al 2010. In questo caso, si evidenzia la situazione climatica della macroregione 2 dato che è l'area oggetto della sperimentazione così come si evince nei capitoli successivi di questo volume. Di seguito si riporta un estratto del PNACC che definisce la *"Macroregione 2 - Pianura Padana, alto versante adriatico e aree costiere dell'Italia centromeridionale*

(Figura 8). La macroregione è caratterizzata dal maggior numero, rispetto a tutte le altre zone, di giorni, in media, al di sopra della soglia selezionata per classificare i summer days (29,2°C) e al contempo da temperature medie elevate; anche il numero massimo di giorni consecutivi senza pioggia risulta essere elevato (CDD) in confronto alle altre zone dell'Italia centro settentrionale; il regime pluviometrico, in termini di valori stagionali (WP ed SP) ed estremi (R20 e R95p) mostra invece caratteristiche intermedie.”

Indicatori climatici	Include la pianura Padana, l'alto versante adriatico e le aree costiere dell'Italia centro-meridionale (comprese le aree di Lazio e Campania a più elevata urbanizzazione). La macroregione 2 è caratterizzata dal maggior numero di giorni, in media, al di sopra della soglia selezionata per classificare i <i>summer days</i> (29,2°C) e da temperature medie elevate. Il regime pluviometrico, in termini di valori medi ed estremi, mostra caratteristiche intermedie, mentre il numero massimo di giorni consecutivi senza pioggia (CDD) risulta essere elevato.						
	 Temperatura media annua Tmean (°C) 14.6 (±0.7)	 Precipitazioni intense R20 (n. giorni/anno con precipitazioni >20mm) 4 (±1)	 Giorni con gelo FD (n. giorni/anno con Tmean <0°C) 25 (±9)	 Giorni estivi SU95p (n. giorni/anno con Tmax > 29.2 °C) 50 (±13)	 Cumulata delle precipitazioni invernali WP (mm) 148 (±55)	 Cumulata delle precipitazioni estive SP (mm) 85 (±30)	 95° percentile della precipitazione R95p (mm) 20

Figura 8 Caratteristiche climatiche della macroregione climatica 2

Lo scopo della zonazione è quello di individuare, tramite l'applicazione di una procedura di cluster analysis aree del territorio italiano omogenee in termini di anomalie climatiche. Le proiezioni climatiche future sono state ottenute considerando due diversi scenari in linea con l'IPCC: RCP4.5 e RCP8.5 al fine di valutare l'incertezza delle proiezioni climatiche rispetto ai due scenari considerati. A sua volta, sono state individuate aree climatiche omogenee nazionali per anomalie, i valori degli indicatori sono stati raggruppati in categorie omogenee denominate "cluster di anomalie". Nel dettaglio, sono individuati cinque cluster di anomalie (da A a E) mostrate per i due differenti scenari. Nello scenario RCP4.5 così come si evince dalla Figura 9 si ricavano le aree climatiche omogenee del tipo 2A, 2C, 2D. In particolare, le anomalie principali sono lungo il versante tirrenico e la maggior parte della Pianura Padana. Nel dettaglio, sono interessati da un aumento delle precipitazioni invernali e da una riduzione di quelle estive. Invece, per la parte ovest della pianura Padana e il versante adriatico, si osserva una riduzione sia delle precipitazioni estive che di quelle invernali. In generale si ha un aumento significativo dei summer days.

Per quanto riguarda lo scenario RCP8.5 le aree climatiche di interesse sono 2C, 2D, 2E come illustra la Figura 10. Le anomalie presenti sono per la pianura Padana una riduzione

delle precipitazioni estive e ad un aumento rilevante di quelle invernali; le restanti aree della macroregione 2 sono caratterizzate da un aumento complessivo dei fenomeni di precipitazione anche estremi. In generale si ha un aumento significativo dei summer days, come per lo scenario RCP4.5

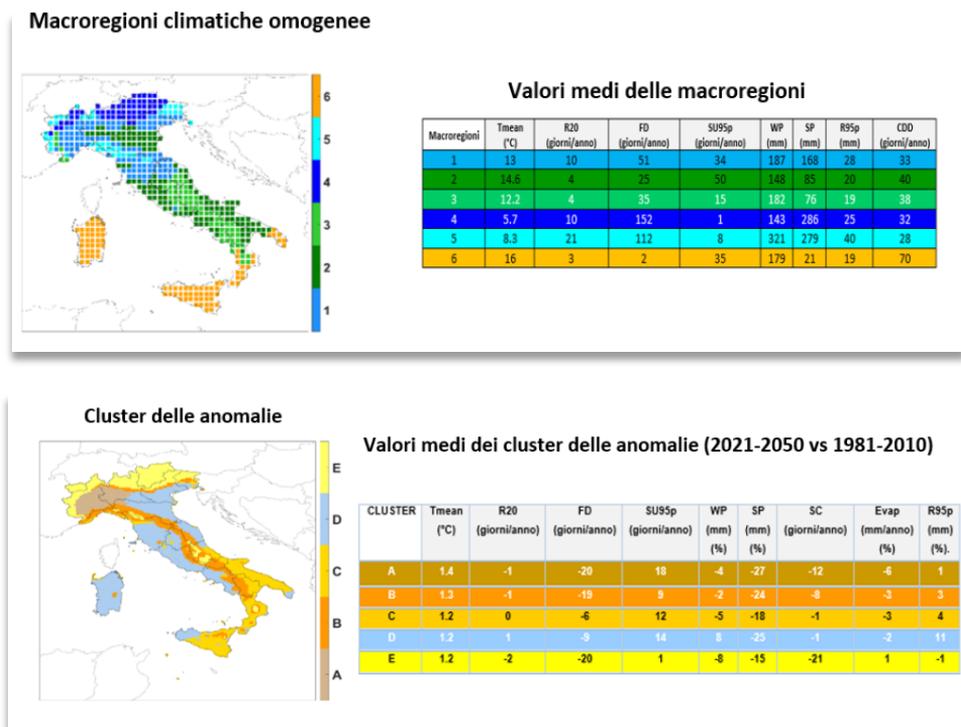
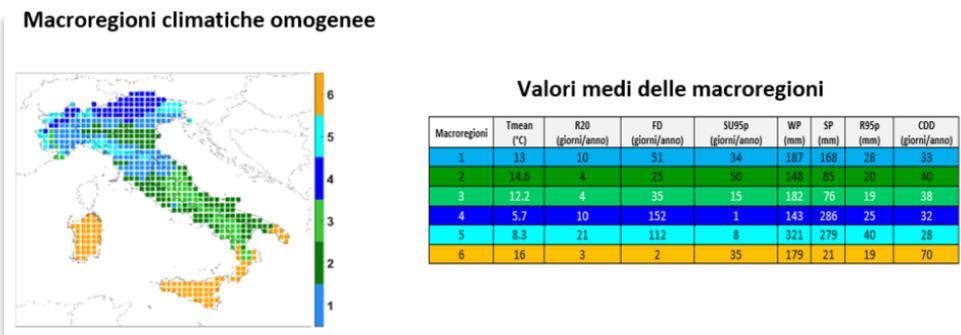


Figura 9 Anomalie per ciascuna delle sei macroregioni. (2021-2050 vs 1981-2010, scenario RCP4.5)



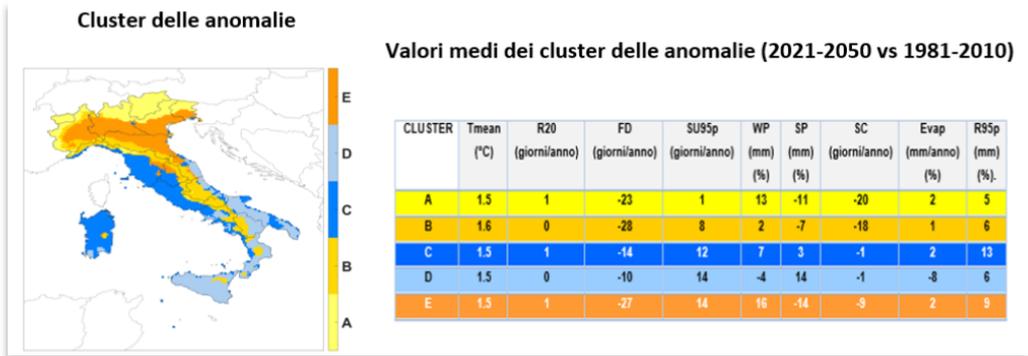
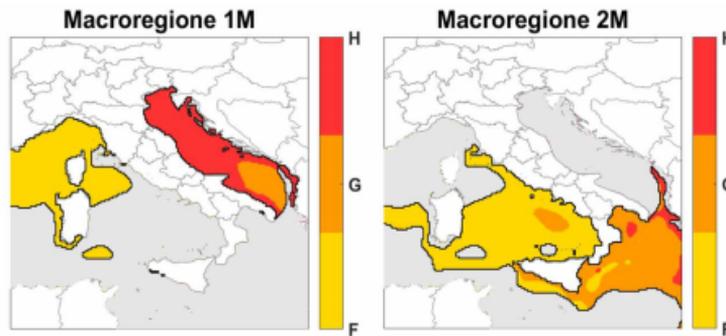


Figura 10 Anomalie per ciascuna delle sei macroregioni. (2021-2050 vs 1981-2010, scenario RCP8.5)

In sintesi, entrambi gli scenari indicano due principali fattori di stress climatico che sono: (i) l'aumento delle temperature; (ii) forti ondate di calore. Questi fenomeni di stress si evincono nelle aree ad alta impermeabilizzazione. Si evidenzia che l'area oggetto della sperimentazione ricade nella macroregione climatica marina omogenea 2M (Figura 11). Tale macroregione è caratterizzata da valori di temperatura superficiale intorno ai 20°C e da valori di livello del mare intorno ai - 3 cm. Le anomalie che caratterizzano la macroregione 2M sono: (i) incremento atteso pari a 1.2°C della temperatura superficiale dell'acqua; (ii) incremento atteso pari a 9 cm del livello del mare.



Macroregioni climatiche omogenee



Valori medi delle macroregioni di interesse (1987-2010)

Macroregione	SST (°C)	SSH (m)
1M	18.2	-0.07
2M	19.6	-0.03

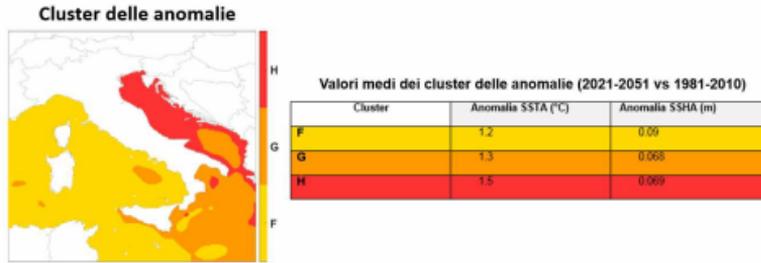


Figura 11 Anomalie per ciascuna delle sei macroregioni. (2021-2050 vs 1981-2010, scenario RCP8.5)

Nel quadro di valutazione della vulnerabilità, il piano sottolinea la vulnerabilità come una delle componenti per misurare il rischio climatico. Il piano stesso identifica il rischio così come mostra la Figura 12 se sono presenti contestualmente una sorgente di pericolo, un sistema che può subirne le conseguenze negative e un'esposizione, cioè la possibilità di contatto tra un pericolo e il recettore. Nella componente vulnerabilità, definita come propensione o predisposizione di un sistema ad essere negativamente alterato, rientrano come elementi determinanti così come definito nel paragrafo 1.4 sensibilità, ossia "susceptibilità" al danno e capacità di adattamento.

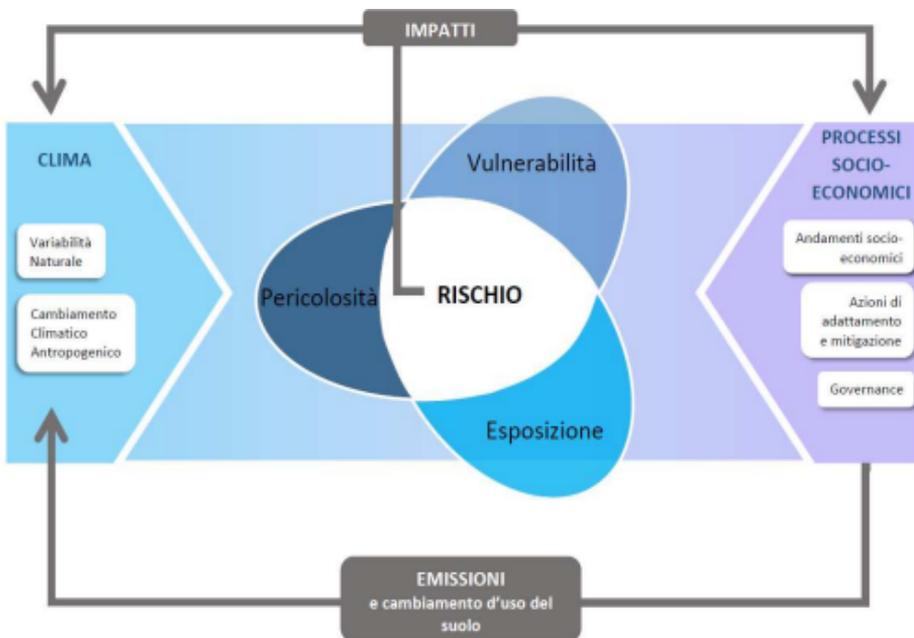


Figura 12 Definizione del rischio dai cambiamenti climatici in accordo con le teorie del IPCC

Il PNACC definisce un indice sintetico di rischio bi-dimensionale. L'indice combina l'“impatto potenziale” (dato da pericolosità, esposizione e sensibilità) con la capacità adattiva. La pericolosità viene definita come la probabilità che, in un dato luogo, si verifichi un certo evento e dall'intensità con cui l'evento potrà manifestarsi, data l'elevata incertezza. Nella valutazione della pericolosità si fa riferimento ad una serie di indicatori (Figura 13) tra cui anche quello relativo alle ondate di calore oggetto della discussione di tale volume. L'esposizione è riferita alla localizzazione, alla consistenza e al valore dei beni (naturali o antropici) e delle attività presenti sul territorio che possono essere influenzate, direttamente o indirettamente, dall'evento catastrofico. Il PNACC nella valutazione dell'esposizione suddivide gli indicatori in 5 macro categorie che sono: (i) capitale naturale che include tutti i sistemi, le risorse e i processi naturali che producono beni e servizi; (ii) capitale umano che è riferito alla salute, alla conoscenza, alle abilità e alle motivazioni degli individui; (iii) capitale sociale che rappresenta l'insieme di abitudini, norme, ruoli, tradizioni, regole, politiche, leggi, dinamiche sociali ed istituzionali; (iv) capitale manufatto ed immobilizzato che include tutti i manufatti e i beni materiali prodotti dall'uomo; (v) capitale economico e finanziario il quale permette che le precedenti forme di capitale siano possedute e scambiate.

Pericolo	Indicatori climatici	Descrizione	Unità
Alluvioni	TR100	Scenario scelto (tempo di ritorno 1-100-anni) di simulazione idraulica, modello LISFLOOD (estensione e profondità)	km ² , m
Allagamenti	R95p	Precipitazione nei giorni molto piovosi, somma nell'anno delle precipitazioni giornaliere superiori al 95o percentile	mm
Inondazione costiera	SLR, SSL	Incremento della superficie costiera potenzialmente inondata in relazione alle mareggiate con tempo di ritorno di 100 anni (Storm Surge Level, SSL) e all'innalzamento del livello mare (Sea-Level Rise, SLR) calcolati per lo scenario RCP45 nel periodo 2021-2050.	m ²
Frane	rx1d	Massima precipitazione in 1-giorno, valore massimo di precipitazione in 1 giorno	mm
	WP	Precipitazione cumulata nei mesi invernali (Dicembre, Gennaio, Febbraio)	mm
Siccità	CDD	Giorni consecutivi senza pioggia, numero massimo di giorni consecutivi con precipitazione giornaliera < 1 mm	giorni
	SPI3	Standardised Precipitation Index di 3 mesi	-
	SP	Precipitazione cumulata nei mesi estivi (Giugno, Luglio, Agosto)	mm
Ondate calore	di HWM	Ampiezza ondata di calore (Heatwave amplitude)	°C
Incendi	FWI	Fire Weather Index per RCP45 2021-2050	-
Ondate freddo	di CWA	Ampiezza ondata di freddo (Coldwave amplitude)	°C ²
Sicurezza idrica	SPI12	Standardised Precipitation Index di 12 mesi	-
	WP	Precipitazione cumulata nei mesi invernali (Dicembre, Gennaio, Febbraio)	mm
	SP	Precipitazione cumulata nei mesi estivi (Giugno, Luglio, Agosto)	mm
Erosione del suolo	del R20	Numero di giorni con precipitazione giornaliera superiore ai 20 mm	giorni /anno

Figura 13 Indicatori climatici di pericolosità

In particolare, le aree della macroregione 2 presentano valori di esposizione intermedi per capitale economico e finanziario mentre valori alti per il capitale naturale e umano manufatto/immobilizzato (Figura 14).

Target	Codice	Indicatore di esposizione (e) e sensitività (s)	Fonte
Capitale manufatto e/o costruito	CM1	Densità delle infrastrutture (strade e ferrovie) (e)	OSM, 2016
	CM2	Aree urbane (CLC2012 categoria 1.1) (e) suddivise in: Centri urbani (agglomerati ad alta densità) – celle contigue di 1 km ² con una densità di almeno 1.500 abitanti per km ² e un minimo di 50.000 abitanti (CM2a). Agglomerati urbani – agglomerate di celle contigue di 1 km ² con una densità di almeno 300 abitanti per km ² e un minimo di 5000 abitanti (CM2b).	COPERNICUS, CLC 2012, EUROSTAT
	CM3	Aree industriali (CLC2012 categoria 1.2) (e)	COPERNICUS, CLC 2012
	CM1-3	Superfici impermeabili ad alta (10 m) risoluzione (<i>high resolution layer</i> HRL, 2012) (e, s)	COPERNICUS, ISPRA
Capitale naturale	CN1	Aree forestali (CLC2012 categoria 3.1) (e)	COPERNICUS, CLC 2012
	CN2	Aree naturali protette (NPAs) – siti NATURA 2000 e aree protette nazionali e regionali (e)	EEA, 2016
	CN3	Suolo suscettibile all'erosione (s)	ESDAC
Capitale umano e sociale	CU1	Densità di popolazione sulla base del censimento 2011, griglia 250 m (e, s)	CMCC
	CU2	Indicatore di dipendenza strutturale (e, s)	CMCC
Capitale economico e finanziario	CE1	Valore Aggiunto Lordo – agricoltura (e, s)	CMCC
	CE2	Valore Aggiunto Lordo – industria (e, s)	CMCC
	CE3	Valore Aggiunto Lordo – servizi (e, s)	CMCC

Figura 14 Indicatori climatici di esposizione e sensitività

Combinando gli indicatori di pericolosità con quelli di esposizione è possibile ottenere una stima indicativa dei potenziali impatti associati cambiamenti climatici. Questa valutazione tiene in considerazione, per ogni indicatore di esposizione, differenti combinazioni di indicatori di pericolosità possibili. Ciò significa che per ogni capitale si può essere esposti ad uno o più pericoli (Figura 15).

Pericolo	Capitali			Capitale naturale			Capitale sociale e umano		Capitale economico		
	CM1	CM2	CM3	CN1	CN2	CN3	CH1	CH2	CE1	CE2	CE3
Alluvioni	x	x	x				x		x	x	x
Frane	x	x	x				x				
Allagamento	x	x	x				x				
Inondazione costiera	x	x	x				x		x	x	x
Siccità					x				x		
Incendi				x							
Ondate di calore							x	x			
Ondata di freddo							x	x			
Sicurezza idrica							x		x		
Erosione del suolo						x					

Figura 15 Potenziali impatti associati ai cambiamenti climatici

Connesso al concetto di rischio c'è quello della capacità di adattamento, per il quale il PNACC propone l'Indice di Capacità di Adattamento. I criteri a cui si fa riferimento sono: risorse economiche, conoscenza e tecnologia, infrastrutture e istituzioni. L'utilizzo di questi indicatori permette la classificazione delle regioni in base alla loro capacità adattiva. Unendo i risultati ottenuti dall'analisi dei rischi (impatti potenziali) con quelli relativi alla capacità di adattamento si ottiene una visione completa della loro combinazione in riferimento alle regioni italiane. In particolare, si osserva come l'area oggetto della sperimentazione ovvero il comune di Napoli presenti un indice degli impatti potenziali medio-basso e una capacità di adattamento bassa (Figura 16).

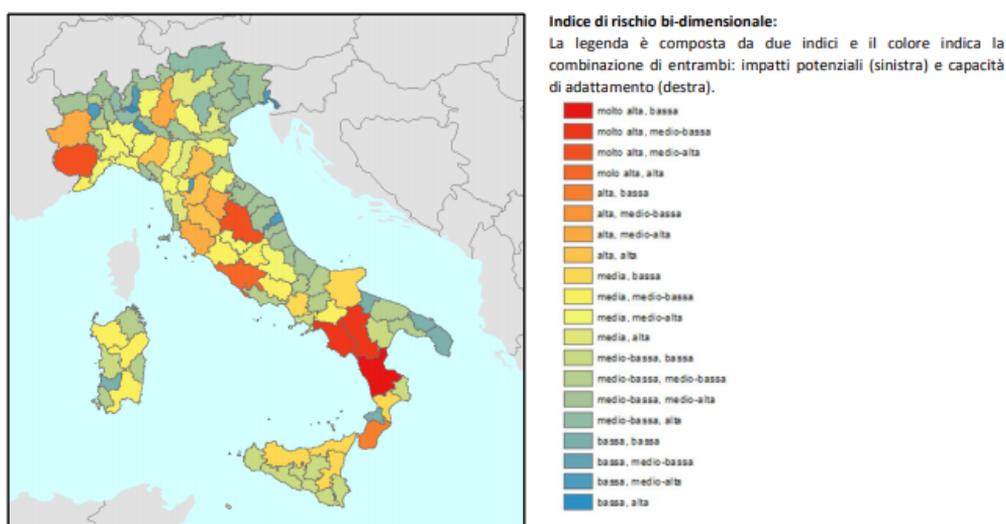


Figura 16 Indice di rischio bi-dimensionale tra impatti potenziali e capacità di adattamento

Inoltre, il PNACC definisce i settori d'azione e i relativi rischi caratterizzanti la macroregione 2 con il loro impatto potenziale che risultano esseri i seguenti così come mostra la Tabella 2.

Settore	Livello di impatto potenziale
Risorse idriche	Alto
Desertificazione	Alto
Dissesto geologico, idrologico e idraulico	Medio-Alto
Ecosistemi terrestri	Medio-Alto
Ecosistemi di acque interne e di transizione	Alto
Foreste	Medio-Alto

Agricoltura	Medio-Alto
Acquacoltura	Alto
Turismo	Alto
Salute	Alto
Insedimenti urbani	Medio-Alto
Trasporti	Alto
Energia	Medio-Alto
Patrimonio culturale	Medio-Alto
Industrie e infrastrutture pericolose	Medio-Alto

Tabella 2. I rischi settoriali della macroregione 2 e i relativi impatti potenziali

Per ciascun settore d'azione, il documento delinea le azioni di adattamento suddividendole in tre macro categorie azioni soft, green e grey. In particolare, vengono esaminate quelle che influiscono sul fenomeno delle isole di calore urbano direttamente o indirettamente su tutte le componenti del sistema urbano come gli insediamenti urbani, trasporti, energia e salute. Per quanto concerne gli insediamenti urbani risultano essere le principali vittime dei cambiamenti climatici e la loro capacità di adattamento sarà dunque affidata alla azione umana. Gli impatti che i cambiamenti climatici possono indurre sugli insediamenti urbani sono diversificati e possono riguardare la salute dei cittadini, il funzionamento di infrastrutture e di reti tecnologiche, gli incrementi improvvisi di domanda energetica e tanti altri, ma alcuni impatti sono esaltati dal fenomeno urbano dell'isola di calore (Urban Heat Island – UHI)

Azioni di tipo non strutturale o "soft" (insediamenti urbani)

- Misure di adattamento
 - Verificare le previsioni degli strumenti di governo del territorio vigenti al fine di riconsiderare e variare previsioni insediative ed infrastrutturali prevedibilmente esposte ad impatti climatici;
 - Promuovere la formazione di *Strategie* e di *Piani di adattamento urbani*;
 - Integrare gli atti di regolazione delle trasformazioni urbane e di gestione degli insediamenti esistenti stabilendo sia standard energetici per il costruito e per gli spazi pubblici;
 - Elaborare linee guida per l'adattamento climatico a scala locale, fornendo metodologie, conoscenze e risorse utili sia alla redazione di carte di vulnerabilità e rischio climatici (*risk assessment* e *risk ranking*) sia alla

successiva formazione di *Piani di adattamento* per la programmazione degli interventi e delle risorse;

- Incrementare la consapevolezza dei cittadini, delle imprese e degli *stakeholder* in merito ai rischi derivanti dai cambiamenti climatici, favorendo la loro partecipazione attiva alle azioni di adattamento e predisponendo dei sistemi di allerta nelle aree maggiormente a rischio;
- Incentivare la ricerca scientifica in materia di adattamento climatico della città esistente attraverso la sperimentazione di nuovi materiali nell'edilizia e lo studio degli effetti climatici dell'albedo, delle superfici artificiali, della vegetazione arborea, con il fine di mettere a punto standard e indicatori di efficienza climatica da applicarsi alle trasformazioni urbane, al patrimonio edilizio esistente, agli spazi pubblici.

Azioni basate su un approccio ecosistemico o "green"

o Misure di adattamento

- Favorire ed incentivare la diffusione dei tetti verdi e l'incremento del verde pubblico e privato anche a fini di calmierazione dei fenomeni estremi di calore estivo. Applicazioni utili per contrastare la formazione di isole di calore;
- Incrementare le dotazioni di verde, la permeabilità dei suoli, gli spazi di socialità e le prestazioni idrauliche;
- Favorire, nell'ambito delle green and blue infrastrutture, la diffusione degli orti urbani, intesi, oltre che a fini educativi, anche come forme mirate di riqualificazione di aree verdi sottoutilizzate sia come contributo alla autonomia alimentare degli insediamenti urbani.

Le reti di trasporto come gli insediamenti urbano influiscono su cambiamenti climatici. Per tale motivo il PNACC evidenzia l'importanza di privilegiare l'ottimizzazione delle reti esistenti rispetto alla realizzazione di nuove opere, effettuando una valutazione degli standard di efficienza e di vulnerabilità nei confronti dei cambiamenti climatici, limitando anche il consumo di suolo non antropizzato. Le nuove strutture dovranno essere costruite secondo criteri climate proof per meglio adattarsi ai cambiamenti futuri.

Azioni di tipo non strutturale o "soft"

Misure di adattamento

- Applicare per le infrastrutture di trasporto, della VIA (Valutazione di Impatto Ambientale) e della VAS (Valutazione Ambientale Strategica) per la valutazione della resistenza ambientale di progetti e piani;
- Adattare il sistema infrastrutturale e dei trasporti attraverso strumenti di pianificazione quali a livello comunale il piano urbano della mobilità (PUM) e il piano urbano del traffico (PUT);
- Incentivare la mobilità lenta e sostenibile che riduca il più possibile l'impatto sul territorio e che condivida obiettivi e finalità con le politiche di mitigazione, anche migliorando la segnaletica e l'informazione al pubblico.

Azioni basate su un approccio ecosistemico o "green" (per infrastrutture verdi)

Le infrastrutture verdi sono una rete di aree naturali e seminaturali pianificata a livello strategico con altri elementi ambientali, progettata e gestita in maniera da fornire un ampio spettro di servizi in cui rientrano le infrastrutture verdi, blu e le zone. Tali infrastrutture sono meno costose e più durature e creano opportunità a livello locale, sia di dare un miglioramento agli approcci di gestione del rischio innovativi, che puntare sull'adattamento ai rischi legati ai cambiamenti climatici garantendo mezzi di sostentamento sostenibili e favorendo la crescita verde.

- o Misure di adattamento
- Integrazione tra infrastrutture verdi e mobilità "dolce";
- Mantenimento di corridoi verdi

Azioni di tipo infrastrutturale e tecnologico o "grey" (per infrastrutture di trasporto stradale)

- o Misure di adattamento
- Sostituzione della copertura stradale con asfalti drenanti e allo stesso tempo resistenti alle alte temperature;
- Controllare con maggiore regolarità la manutenzione delle strade.

Invece, il settore energetico risulta essere particolarmente vulnerabile, in termini economici, ai cambiamenti climatici poiché influenzato, in termini di produzione e di

consumo di energia, dall'andamento delle temperature e dai fenomeni estremi. È previsto, infatti, un notevole incremento dei consumi energetici nella stagione estiva, con crescenti rischi di black-out. Gli obiettivi nazionali indicativi di risparmio energetico sono individuati con i Piani di azione sull'efficienza energetica, PAEE. Il Piano prevede una serie di misure e di meccanismi di incentivazione atti ad ottenere risparmi energetici in tutti i settori di impiego dell'energia. Gli interventi che aumentino il livello di efficienza energetica degli edifici esistenti sono: (i) la riduzione del fabbisogno energetico per il riscaldamento tramite riqualificazione energetica globale; (ii) il miglioramento dell'isolamento termico dell'edificio (sostituzione di finestre comprensive di infissi e coibentazioni di coperture, pareti verticali e pavimenti); (iii) l'installazione di pannelli solari termici; (iv) la sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale (con caldaie a condensazione o pompe di calore); (vi) la sostituzione di scaldacqua elettrici con scaldacqua a pompa di calore.

Azioni miste di tipo non strutturale o "soft" e di tipo infrastrutturale e tecnologico o "grey" inerenti alla gestione della domanda di energia per il riscaldamento e il raffreddamento riguardano

- *Misure di adattamento*
- Realizzare interventi di adattamento, sistemici e generalizzati, del comparto edilizio nazionale atti alla riduzione dei fabbisogni di climatizzazione per la stagione invernale e, soprattutto, per quella estiva;
- Prescrivere, tramite i Regolamenti Edilizi Comunali, che gli edifici di nuova realizzazione siano "climate proof", ovvero che le loro caratteristiche di lunga durata come l'orientamento, l'isolamento, e le finestre dovrebbero essere certificate come appropriate per le condizioni climatiche previste.

Infine, la salute della popolazione e la loro qualità di vita costituisce la priorità assoluta nel contrastare i rischi dei cambiamenti climatici legati da determinati ambientali e meteo climatici come le ondate di calore urbano, in particolare l'UE mira in questo settore ad adottare un approccio multidisciplinare. Il manifestarsi di un aumento delle temperature medie, ondate di calore e alternanza di periodi siccitosi/piogge intense inevitabilmente crea un discomfort degli utenti nel vivere i loro contesti territoriali. In tale ottica emerge un'assenza di un sistema informativo nazionale finalizzato alla raccolta

di dati sulla tipologia di eventi estremi e dei loro impatti diretti e indiretti. Si riportano nella parte sottostante le diverse tipologie di misure di adattamento.

Azioni miste di tipo non strutturale o “soft” e di tipo infrastrutturale e tecnologico o “grey” che riguardano la ricerca, sviluppo e applicazione di tecnologie e materiali resilienti a cambiamenti e variabilità del clima

- *Misure di adattamento*
 - Linee guida per i decisori locali sull’uso di tecnologici e materiali resilienti a cambiamenti e variabilità del clima;
 - Incentivi fiscali per l’uso di tecnologie e materiali resilienti;
 - Istituzione di procedure di comunicazione del rischio a livello locale.

Potenziamento della resilienza di sistemi di prevenzione a rischi emergenti attraverso strumenti normativi ed organizzativi

- *Misure di adattamento*
 - Programmazione di sistemi di early warning e monitoraggio ambientale di specie vegetali (tossiche, allergizzanti) e animali;
 - Programmazione di un sistema di monitoraggio d’inquinanti chimici e biologici negli ambienti interni;
 - Individuazione e monitoraggio delle possibili isole di calore definite in base alla popolazione residente e alla struttura del territorio;
 - Aumentare la resilienza dei servizi idrici integrati agli eventi metereologici estremi;
 - Potenziamento delle norme di settore.

In sintesi, la lettura del PNACC mira a fornire uno strumento di supporto alle istituzioni nazionali, regionali e locali per l’individuazione e la scelta delle azioni più efficaci nel contesto delle diverse aree climatiche e in relazione alle criticità che la connotano, e per l’integrazione di criteri di adattamento ai cambiamenti climatici nelle procedure e negli strumenti già esistenti. Inoltre, il piano mira a definire le azioni che possono essere più efficaci in materia di adattamento, con l’obiettivo di fornire ai decisori locali elementi utili e scientificamente elaborati per le relative scelte.

Strategie efficaci per la riduzione del rischio e per l’adattamento, pertanto, devono basarsi su una solida identificazione e stima dei pericoli (ovvero sulla ricerca delle

sorgenti di rischio e dei casi in cui queste possono arrecare danni all'ambiente e/o alle persone) e su un'attenta valutazione delle condizioni di esposizione e vulnerabilità dei sistemi naturali e umani, considerandone le interazioni. L'insieme coordinato di tali azioni di adattamento viene esaminato per le isole di calore e di come influiscono su tutte le componenti di un sistema urbano da quello fisico a quello ambientale, pertanto, i benefici possono essere indirettamente anche su altri temi su cui le città sono chiamate a rispondere come il rispetto della sostenibilità ambientale, la riduzione dei consumi energetici incrementato la qualità di vita degli utenti che vivono i loro contesti territoriali.

2.3 Adattamento in ambito urbano

Il cambiamento climatico è una delle sfide più importanti a livello internazionale e l'adattamento rappresenta quindi una delle strategie politiche per affrontarlo (Errigo, 2018). Soli alcune città hanno iniziato a investire nell'adattamento urbano come un'opportunità per aumentare la resilienza e la competitività urbana. In questo paragrafo si evidenziano l'analisi delle strategie (o dei piani) di adattamento urbano condotta su quattro città che si sono dimostrate maggiormente sensibili al fenomeno delle isole di calore urbano. In particolare, i casi studio selezionati sono New York, Londra, Parigi e Bologna che hanno risentito fortemente di questo fenomeno. Nel dettaglio, l'analisi dei casi studio è stata condotta in due fasi. Nella prima parte sono state raccolte le informazioni principali evidenziando le previsioni climatiche e la vulnerabilità dei singoli territori esaminati a scala urbana in linea con gli accordi internazionali ed europei. Nella seconda parte sono state individuate le relative misure di adattamento utili a ridurre le isole di calore nei diversi insediamenti urbani. Per ciascuna misura di adattamento sono individuati i relativi obiettivi e interventi schematizzati attraverso un diagramma con la finalità di sviluppare un quadro operativo che può essere utile nella scelta delle misure di adattamento urbano da attuare in un'area urbana per ridurre gli impatti dovuti alle isole di calore urbano.

2.3.1 The Mayor's climate change adaptation strategy in London

Nel 2011 la città di Londra ha approvato il "The Mayor's climate change adaptation strategy". Il documento è strutturato in quattro capitoli e di ciascun capitolo pone il focus

sul tema delle isole di calore urbano. Nella prima parte si evidenzia lo scenario climatico futuro della città di Londra e di come l'aumento delle temperature registrate sul territorio londinese abbiano influito sul manifestarsi del fenomeno delle isole di calore urbano. In particolare, da uno studio approfondito si evidenzia come un'analisi della media annuale delle temperature globali siano progressivamente aumentate negli ultimi 150 anni. La Figura 17 classifica anche la media annuale globale delle temperature, con diversi colori utilizzati per illustrare i diversi decenni. Si nota come ogni anno dell'ultimo decennio si siano registrate temperature sempre più elevate.

L'aumento della temperatura media annuale in genere è tra 1,0 e 1,7°C, tendenzialmente maggiore a sud e l'est dell'Inghilterra rispetto ai territori scozzesi. Inoltre, il 2010 è stato il secondo anno più caldo a livello globale registrato, ma l'anno più freddo nel Regno Unito dal 1986.

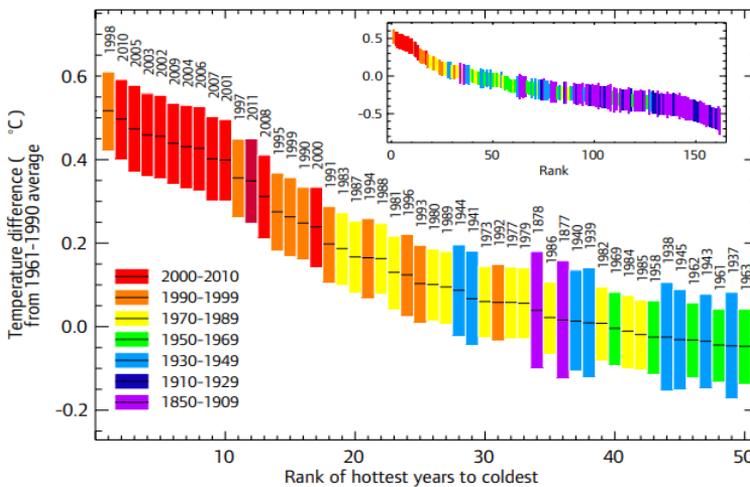


Figura 17 Differenze di temperature registrate dal 1963 al 2010 nella città di Londra

La Figura 18 mostra come il tasso di riscaldamento, soprattutto nei mesi più caldi (giugno, luglio e agosto) è aumentato negli ultimi 30 anni (linea tratteggiata), rispetto agli ultimi 50 anni (linea continua). Inoltre, le temperature medie estive sono aumentate di oltre 2°C nel periodo tra il 1977 – 2006 nel territorio londinese. Lo scenario climatico delineato è utile a comprendere non solo i diversi impatti del cambiamento climatico, ma anche come gestirli. Nella parte riguardante le isole di calore urbano si sottolinea in primis come negli anni la città di Londra sia stata colpita da forti ondate di calore.

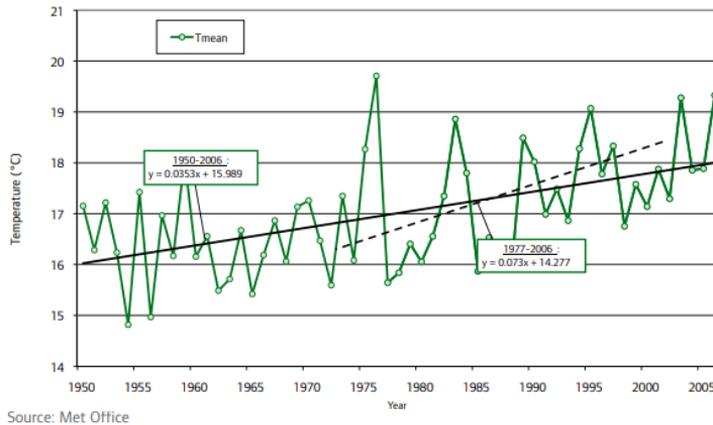
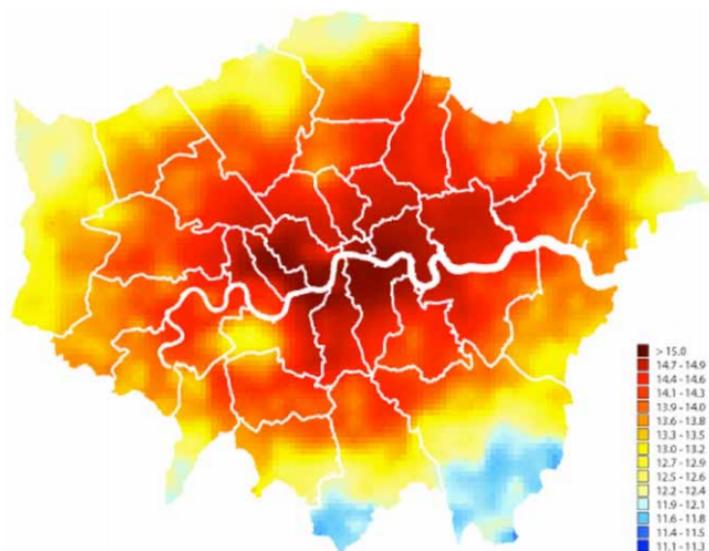


Figura 18 Tasso di riscaldamento di Londra nei mesi caldi

In particolare, quella avvenuta nel 2003 dove portò alla morte di 600 persone. Ulteriori ricerche hanno dimostrato che il numero di decessi in risposta all'aumento delle temperature a Londra è aumentato sopra i 24,7 °C (che è una soglia più elevata rispetto ad altre regioni del Regno Unito). Le elevate temperature hanno inevitabilmente un impatto sulle infrastrutture ovvero, instabilità linee ferroviarie, scioglimento del manto stradale, aumento del consumo di acqua e una maggiore domanda di energia per raffreddamento. In particolare, nel 2003 un forte ondata di calore rivelò una differenza di temperatura tra il centro di Londra fino a 11°C più calda della cintura verde circostante. Dopo l'ondata di caldo dell'agosto 2003, il Dipartimento della Salute ha prodotto un Piano nazionale per le ondate di calore, che è stato pubblicato per la prima volta nel 2004 ed è stato revisionato annualmente. Il piano enuncia la responsabilità a livello nazionale e locale per prepararsi al caldo estivo, prevenire le malattie legate al calore e allertare individui e organizzazioni una volta che è prevista una forte ondata di caldo e consiglia a sua volta cosa fare durante un'ondata di caldo. Inoltre, nel The London Resilience Partnership è stato adottato un piano specifico relativo ondate di calore. Il piano inoltre evidenzia come la città di Londra nel corso degli anni abbia lavorato per migliorare la compressione delle isole di calore urbano al fine di definire le aree vulnerabili ad esso. In particolare, le analisi sono state condotte grazie il progetto LUCID (www.lucid-project.org.uk/). Il progetto ha sviluppato una serie di modelli attraverso una serie di software sulla città di Londra che evidenziano come la città

assorbe e irradia calore da una scala urbana alla scala edilizia. Questi modelli mirano a definire una migliore comprensione come l'ambiente costruito può influenzare il clima locale al fine di definire modifiche alla densità, uso del suolo, consumo energetico, larghezza della strada e verde sul clima locale. Inoltre, il progetto mira ad aiutare a determinare azioni per la gestione dell'isola di calore urbana e mitigare gli effetti sulla salute pubblica. Di seguito si riporta una "mappa" dell'UHI di Londra. Questa immagine (Figura 19) è stata generata utilizzando un modello volto rappresentare scambi energetici tra le diverse componenti del sistema urbano.



Source: LUCID (LondUM model).

Figura 19 Le UHI di Londra

Il piano identifica il rischio di surriscaldamento. L'analisi del rischio è utile per definire indice di vulnerabilità da temperature in relazione: (i) all'edilizia abitativa (tipologia e progetto edilizio, condizioni e isolamento, superficie vetrata, uso dell'aria condizionata o buona ventilazione); (ii) i luogo di lavoro (lavorando all'esterno, o se al chiuso le caratteristiche di cui sopra età (sotto i 4 anni o 65 e oltre, con quelli di età pari o superiore a 85 anni che sperimentano gli effetti più gravi); (iii) genere (le donne sono più vulnerabili di uomini over 65); (iii) condizioni mediche preesistenti (come malattie cardiache e respiratorie); (iv) fattori sociali (senz'altro, chi vive da solo o senza rete di supporto, basso redditi). A sua volta, l'analisi della vulnerabilità identifica come gestire il caldo urbano attraverso misure di adattamento su tre differenti scale: (i) città; (ii)

quartiere; (iii) edificio. Le differenti scale geografiche consentono di definire l'intensità del calore urbano tra spazi verde e copertura del suolo urbano dato che l'UHI è causato dalla sostituzione dello spazio verde con materiali urbani che immagazzinano energia. Il metodo più semplice per gestire l'isola di calore urbana, quindi, è quello di aumentare la quantità di copertura dello spazio verde, proteggendo spazi verdi esistenti e incoraggiare nuove opportunità di "inverdimento urbano" o materiali che imitano il verde urbano. Il piano evidenzia, alla scala quartiere, la realizzazione di interventi volti su corridoi naturali che aumentano la circolazione dell'aria, l'orientamento delle strade e degli edifici per fornire una migliore gestione dell'ombra in estate e guadagno solare in inverno. In più, la realizzazione di spazi verdi nuovi e l'ottimizzazione delle strade per accoglierli, utilizzando alto albedo e materiali permeabili. A scala di edificio, le misure adottate per ridurre l'UHI si concentrano sull'integrazione di tetti e pareti verdi, evitando facciate abbaglianti e utilizzando la vegetazione per fornire ombra estiva agli edifici. Di seguito si riporta la vision adottata relativa al fenomeno delle isole di calore urbano, gli obiettivi e le azioni introdotte sul tema (Figura 20).

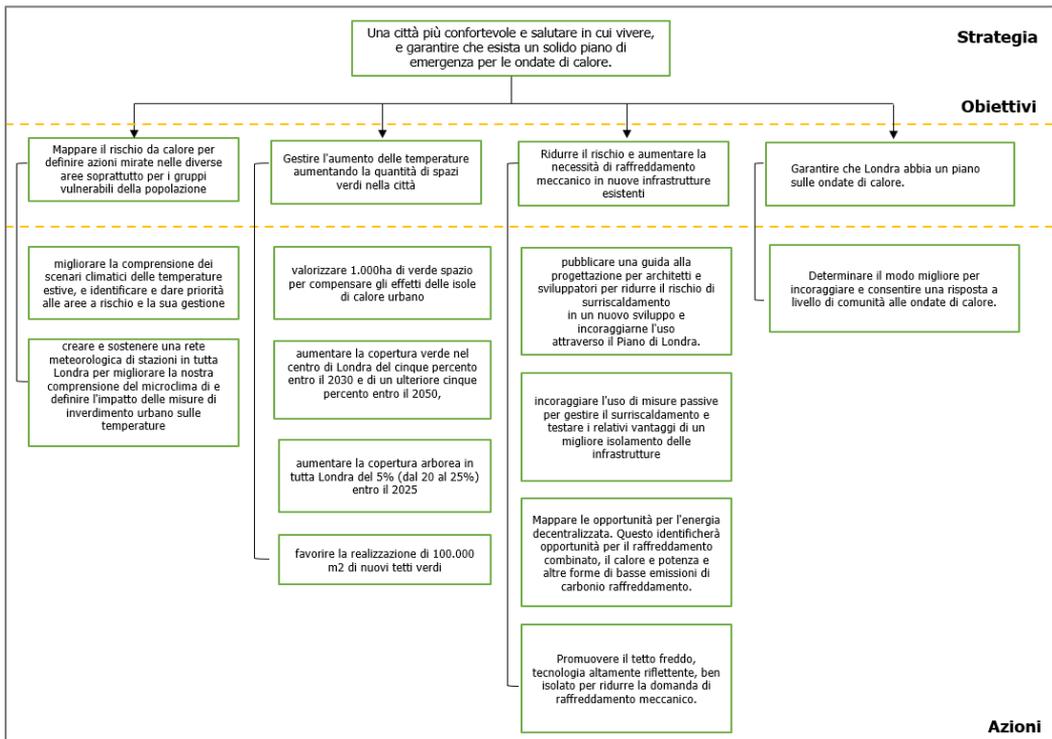


Figura 20 Azioni di adattamento delle aree urbane alle isole di calore urbano della città di Londra

2.3.2 Paris's adaptation strategy: Towards a more resilient city

Nel 2015, la città di Parigi ha pubblicato Paris's adaptation strategy: Towards a more resilient city con l'obiettivo di salvaguardare i cittadini parigini e la città dai fenomeni del cambiamento climatico in modo da preservare i servizi e risorse (ambientali ed economiche) del sistema urbano. Il documento mira a coordinare le diverse istruzioni sulle scelte da dover prendere sul territorio per combattere gli effetti del cambiamento climatico fornendo un panel di strategie di adattamento in diversi settori che definiscono misure concrete contro il cambiamento climatico. Nella prima parte del documento, si evidenzia lo scenario delle temperature medie annuali e di come sono aumentate a Parigi dalla seconda metà del XX secolo e continueranno ad aumentare: tra +2°C e +4°C rispetto ad oggi. Inevitabilmente questo comporterà che le ondate di calore saranno più frequenti e intensi, e l'effetto sarà aggravato dall'elevata urbanizzazione. Nella prima parte del documento, in più si evidenzia come Parigi ha risentito di forti ondate di calore sia nell'estate del 2003 che all'inizio dell'estate 2015 e le proiezioni future delineano che il clima estivo possa migliorare nel 2050. Adirittura, nell'estate del 2019, le temperature a Parigi sono salite a un record di 42,6°C durante tale ondata di caldo sono morte circa 1.500 persone in tutta la Francia. Poiché la crisi climatica porta un caldo più frequente e grave nelle nostre città, questo è esacerbato dall'effetto isola di calore urbana. Nella seconda parte del documento si evidenziano le sfide, gli obiettivi ed azioni della strategia di adattamento. Per una città più resiliente sono articolate in quattro parti, che corrispondono a quattro requisiti e scale di intervento: (i) proteggere i parigini dagli eventi climatici estremi; (ii) garantire l'approvvigionamento idrico, cibo ed energia; (iii) vivere con il cambiamento climatico: urbanistica più sostenibile; (iv) promuovere nuovi stili di vita e dare impulso solidarietà. Ognuna di queste parti contiene diversi tipi di azione che mirano ad approfondire la conoscenza per sviluppare azioni nel lungo termine dall'altra mobilitare gli stakeholder. Considerando che la sfida di adattamento a un territorio con fenomeni complessi si svolgerà necessariamente per un lungo periodo di tempo, da qui al 2050. Nella sezione del piano "Protection Parisians against extreme climate event" è presente una parte dedicata ondate di calore. In particolare, si evidenzia il fenomeno dell'isola di calore urbana legato alla densità di edifici e i suoi relativi materiali di cui è composto trattengono il calore provocano un aumento della

temperatura in città che raggiunge fino a 5 o 6°C in più che in un ambiente naturale. Questi effetti sono anche aggravati dalla particolare vulnerabilità di certe popolazioni (anziani, isolati...) e infrastrutture (la sensibilità di rotaie per riscaldare, potenzialmente portando ai disagi nei sistemi di trasporto pubblico, la vulnerabilità della rete elettrica). Alla luce di queste considerazioni, il piano evidenzia in primis l'importanza di mettere a punto piani Heatwave Plan articolati in quattro livelli: (i) il primo livello consiste nell'assicurare il monitoraggio del clima, dell'atmosfera e della salute, utilizzato a misurare il rischio delle ondate di calore; (ii) il secondo livello sul garantire messaggi di prevenzione che vengono diffusi attraverso i media (messaggi televisivi e radiofonici, giornali per articoli) e nei luoghi pubblici; (iii) il terzo livello implementare organizzazioni specifiche con personale disponibile per tutelare le persone vulnerabili dal caldo attraverso anche visite domiciliari; (iv) quarto livello sulla mobilitazione delle diverse istituzioni e ministeri competenti se l'ondata di calore persiste. In secundis di dover introdurre azioni volte a migliorare il "cool" sia degli spazi aperti incrementando la realizzazione degli spazi verdi o sviluppando l'uso dell'acqua attraverso sistemi di nebulizzazione dell'acqua negli spazi pubblici aperti e parchi. In tertium azioni sugli edifici come l'inserimento di pannelli fotovoltaici o le realizzazioni di tetti verdi che migliorano al contempo il confort termico delle aree urbano. Di seguito si riportano gli obiettivi del piano con le relative azioni di adattamento con l'obiettivo di fornire un quadro operativo alle diverse scale urbane urbana, di quartiere e di edificio per ridurre tale fenomeno (Figura 21).

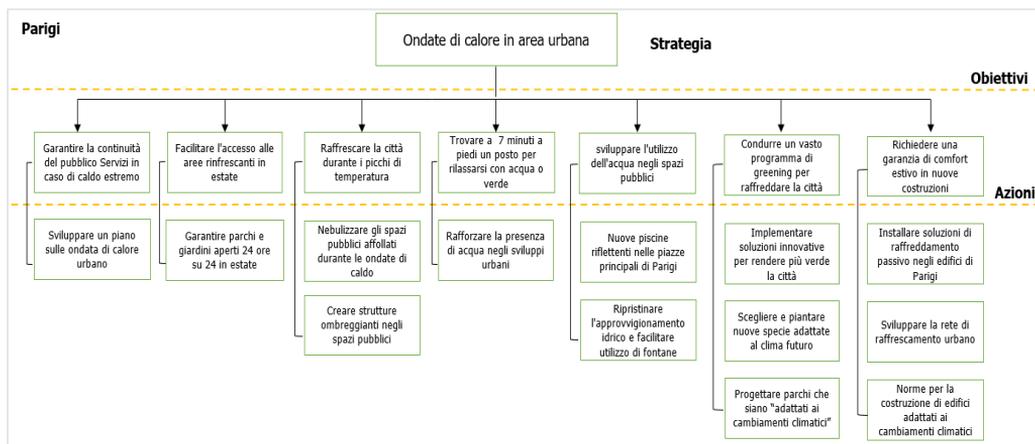


Figura 21 Azioni di adattamento delle aree urbane alle isole di calore urbano della città di Parigi

2.3.3 One New York 2050: Building a strong and fair city

Il piano di adattamento di New York emanato nel 2019 mira a rispondere ai problemi futuri della città. New York è una città in rapida espansione che prevede di continuare a urbanizzarsi e diventare più densa, con una popolazione prevista di 9 milioni entro il 2050. Questo sviluppo è tanto più rapido per le popolazioni del Bronx e di Brooklyn. Sebbene New York sia una città ampiamente sviluppata, questo comporta un accentuarsi dei fenomeni del cambiamento climatico. In particolare, il piano si impianta su sei sfide che sono: (i) rising unaffordability; (ii) economic insecurity; (iii) wealth and health disparities; (iv) climate emergency; (v) failing infrastructure and shifting needs; (vi) threats to democracy. Nella prima parte del documento si delinea il quadro conoscitivo climatico e di come sia elevata la frequenza del manifestarsi delle ondate di calore intense che rappresentano una minaccia per l'economia, infrastrutture, salute pubblica e stile di vita. Il caldo estremo è ora la prima causa di mortalità da condizioni meteorologiche, e tempeste estreme. I centri di ricerca evidenziano che nel 2100 gli aumenti di temperatura variano da 4,7 a 8,6 gradi Fahrenheit. Questo avrà un impatto diretto su tutti i newyorkesi. Entro il 2050, il piano stesso afferma che senza azioni di adattamento, la frequenza di mortalità aumenterà per i newyorkesi soprattutto in estate dato il caldo intenso. Un'ulteriore conseguenza sarà una maggiore domanda domestica da parte degli utenti di aria condizionata che comporta indirettamente un aumento dei consumi energetici delle aree urbane. Al contempo, risulterà sempre più difficile raggiungere gli obiettivi di energia rinnovabile e aumenterà il rischio per gli anziani e altre popolazioni particolarmente vulnerabili alle malattie legate al caldo. Davanti a questo scenario, la città ha assunto un ruolo di primo piano a livello mondiale nella lotta ai cambiamenti climatici. Nella seconda parte il documento evidenzia come per ogni sfida siano stati definiti otto obiettivi e trenta strategie. Gli otto obiettivi su cui si impianta il piano sono: (i) vibrant democracy; (ii) inclusive economy; (iii) thriving neighborhoods; (iv) healthy lives; (v) equity and excellence in education; (vi) Livable climate; (vii) efficient mobility; (viii) modern infrastructure. Di ciascuna di queste strategie si esaminano quelle che influiscono in modo diretto e indiretto sulla riduzione del fenomeno delle isole di calore urbano oggetto della discussione del volume. In particolare, in thriving neighborhoods e healthy lives mirano a fornire azioni per migliorare la vivibilità

dei quartieri di New York. In particolare, le azioni sono volte alla progettazione dell'ambiente costruito attraverso le realizzazioni di infrastrutture verdi in collaborazione con il Dipartimento per la protezione ambientale (DEP) di New York City che ha costruito più di 4.000 infrastrutture verdi, tra cui giardini pluviali e marciapiedi permeabili utili al contempo a favorire il confort termico delle aree urbane.

Gli alberi lungo le strade, parchi e aree boschive, offrono molti vantaggi a New York City. Gli alberi assorbono l'anidride carbonica e rimuovono gli inquinanti atmosferici, abbassano le temperature estive, forniscono ombra e aiutano a trattenere l'acqua piovana. In questa prima parte, il piano prevede anche di incoraggiare l'attività fisica, lo sviluppo della comunità per migliorare la salute mentale. Questo sarà possibile attraverso l'aggiornamento e ampliamento le linee guida di progettazione attiva (ADG) per includere strategie di progettazione fisica per edifici, strade, agricoltura urbana e spazi pubblici che supportano la salute mentale e il benessere sociale, ma promuoveranno ambienti che facilitino scelte salutari per tutti gli abitanti di New York. Nel sesto obiettivo del piano denominato Livable Climate non solo si evince lo scenario climatico della città di New York e come le temperature medie aumenteranno di 5,7 ° F. Inoltre, il piano mostra che i morti annuali sono all'incirca 130 a causa del caldo estremo registrato all'interno dei diversi contesti urbani. Per contrastare questo, la città si è impegnata a sviluppare un percorso per limitare l'aumento della temperatura globale a 1,5°C. In questa sezione si evidenzia da un lato le azioni di mitigazione al fine ridurre le emissioni di carbonio all'interno della città, ma anche le azioni di adattamento. Per quanto riguarda le azioni di adattamento, le istituzioni da un lato mirano a preparare e formare i newyorkesi nella preparazione al caldo estremo attraverso il Promote climate health preparedness for health-vulnerable newyorkese e dall'altro a fornire interventi sia alla scala urbana attraverso la manutenzione degli alberi stradali e delle infrastrutture verdi che alla scala di edificio attraverso la realizzazione di tetti bianchi. Un'ulteriore azione è di sviluppare politiche e strutture di governo e governance a supporto della resilienza climatica e adattamento dato che la comunità scientifica in questi anni è cresciuta notevolmente sul tema del cambiamento climatico e dei suoi fenomeni rispetto alla risposta dei governi. Tale iniziativa è volta ad integrare nei quadri legali e normativi della città riforme strategiche in grado di migliorare ed incrementare la resilienza climatica nei futuri

progetti di investimento della città. Inoltre, in questi anni la città di New York ha sviluppato il programma New York CoolRoofs che promuove la giustizia climatica dando priorità all'installazione di coperture riflettenti nelle comunità più vulnerabili al calore di New York City per aiutare a ridurre le temperature locali e mitigare gli effetti sulla salute, in particolare per i gruppi vulnerabili della popolazione all' isola di calore urbana. Tale programma ha sviluppato delle mappe utili ad indentificare le aree in cui i residenti affrontano un rischio maggiore di effetti negativi sulla salute a causa del caldo estremo definendo un indice di vulnerabilità al caldo (Figura 22).

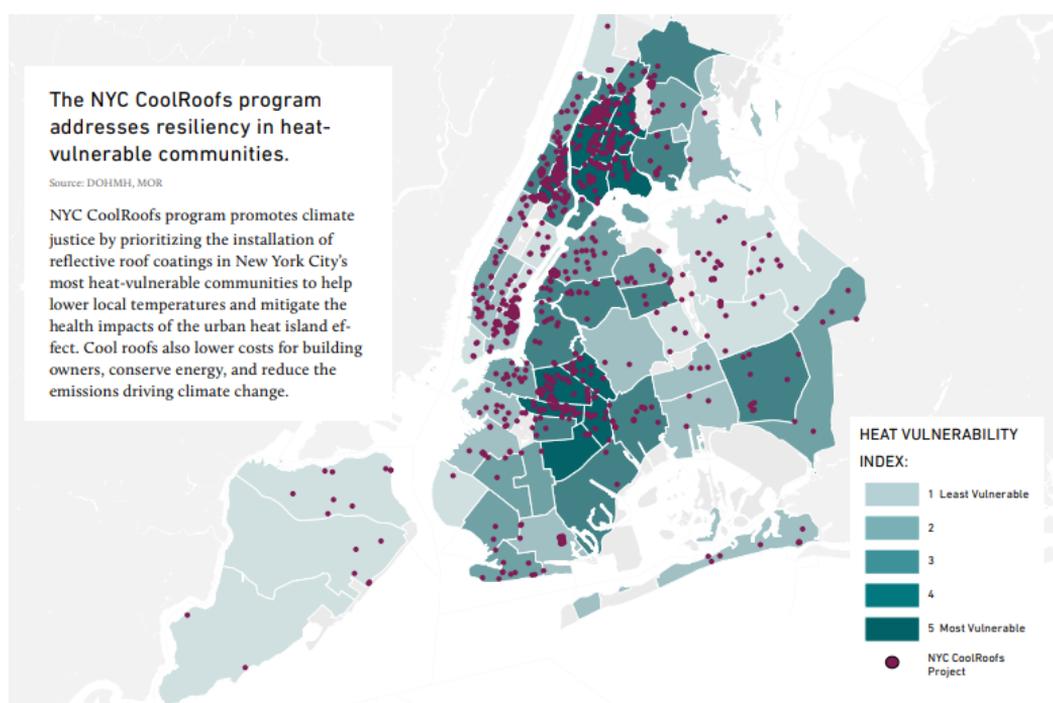


Figura 22 La vulnerabilità delle aree urbane della New York City al calore

In sintesi, il piano fa evincere la necessità di introdurre politiche, strategie e azioni volte da un lato a migliorare i contesti urbani attraverso la realizzazione di alberi e vegetazione nelle strade e dall'altro di garantire che i residenti siano consapevoli dell'ubicazione delle zone fresche. Inoltre, di promuovere messaggi di salute nelle aree più vulnerabili al caldo della città aiutano anche a combattere gli effetti del clima estremo e dell'ambiente costruito. In più il piano evidenzia l'approccio multidisciplinare proponendo nella sezione

“Use the best available science to inform a multi-hazard approach to climate adaptation” di creare una roadmap per l'adattamento al clima, basandosi sulle recenti scoperte dell'NPCC e su altri studi scientifici in modo che la città sviluppi una tabella di marcia per l'adattamento al clima e di definire le priorità delle misure di adattamento a breve, medio e lungo termine. In sintesi, si riportano le relative azioni di adattamento alle diverse scale urbane alla città di New York (Figura 23).

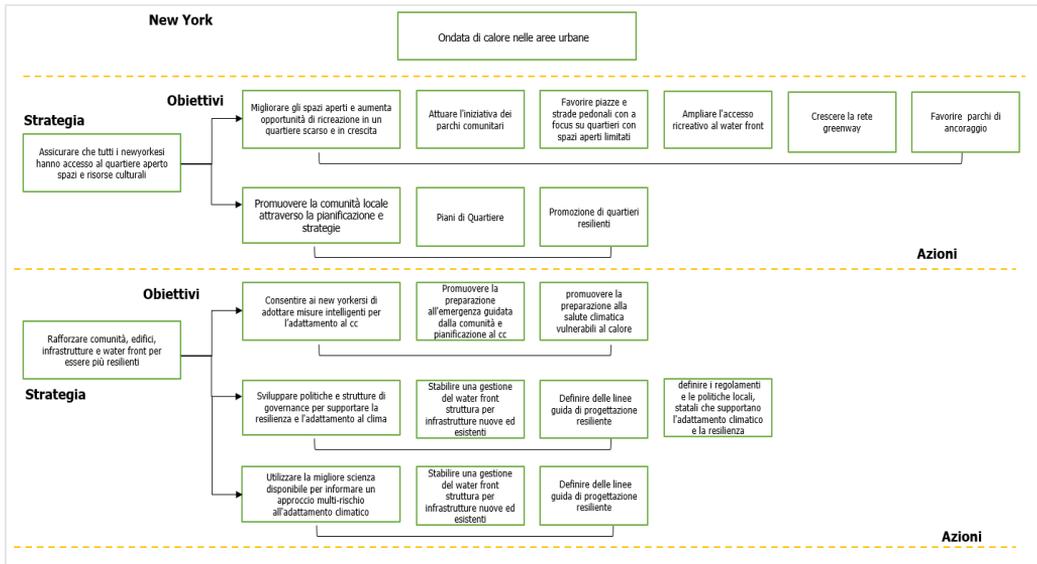


Figura 23 Azioni di adattamento delle aree urbane alle isole di calore urbano della città di New York

2.3.1 Strategia locale di adattamento ai cambiamenti climatici della Città di Bologna

Il Piano di Adattamento della Città di Bologna è il risultato del progetto BLUEAP, finanziato dall’UE con fondi europei LIFE+. Tale progetto ha avuto come finalità quella di aumentare la «resilienza» del territorio bolognese attraverso la definizione di un piano di adattamento locale al cambiamento climatico. Il progetto, coordinato dal Comune di Bologna, coinvolge altri tre partner tecnici: Ambiente Italia, ARPA Emilia-Romagna e Kyoto Club. La città di Bologna ha una popolazione all’incirca 389.326 abitanti (Città di Bologna, 2018). L’area cittadina è caratterizzata da un’elevata compattezza e stratificazione funzionale e presenta uno snodo fondamentale della mobilità e dei trasporti in Italia. La messa a punto di questo piano persegue un duplice obiettivo da un lato preparare l’amministrazione ed i cittadini a fronteggiare in modo efficace le ondate

di calore, siccità, flash flooding, alluvioni e dall'altro ridurre la vulnerabilità esistente del territorio. Negli ultimi anni, la città di Bologna ha risentito dei diversi impatti dei cambiamenti climatici. Purtroppo, la frequenza crescente di episodi di danni causati da eventi meteorici particolarmente intensi ha generato frane e dissesti. A sua volta, si aggiunge una condizione di particolare vulnerabilità dell'area Bolognese alla quale da sempre l'uomo dedica una particolare cura. Nella prima parte del documento viene delineato il quadro conoscitivo sulle condizioni climatiche e dall'altro la definizione delle strategie ed azioni. Nella prima parte del quadro conoscitivo emerge come le ricerche su scala locale e regionale risultano chiari segnali del cambiamento climatico. Si evince una tendenza al rialzo della temperatura, con anomalie positive nella maggior parte della regione (tra 0.5 celsius e fino a 3 celsius). In particolare, nell'area Bolognese emerge che dal 1951 al 2011 sono stati osservati importanti segnali di variabilità climatica sia per le temperature che per le precipitazioni (Figura 24).

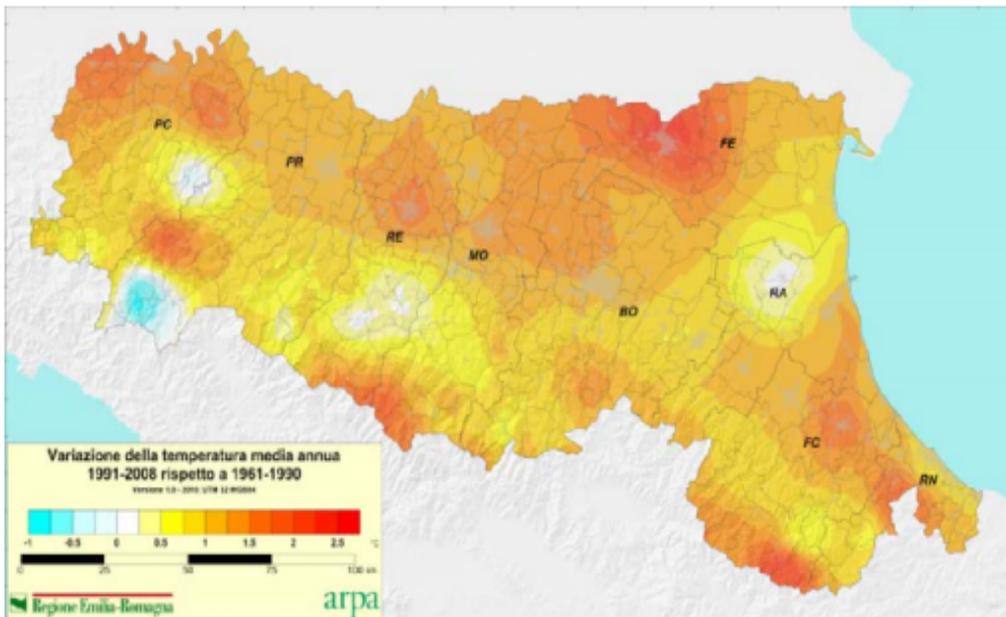


Figura 24 Media delle anomalie delle temperature (1991-2008) nella città di Bologna

Inoltre, si è visto come l'aumento delle temperature sia stato significativo per tutte le stagioni, con un valore medio di circa 0,3° per decade. Si è potuto osservare anche un aumento delle ondate di calore, ossia dei giorni consecutivi con temperature massime

giornaliere superiori a 33°. Infine, gli scenari futuri mostrano un probabile incremento medio delle temperature di 2° per il periodo 2021-2050 rispetto al 1961-1990, con le anomalie più forti che potranno verificarsi durante il periodo estivo comportando un conseguente aumento delle ondate di calore. La realizzazione del Profilo Climatico Locale definisce la vulnerabilità legata ai cambiamenti climatici del territorio, mettendo in luce i rischi e le opportunità di resilienza. L'analisi del territorio ha consentito di individuare, oltre alle criticità, anche alcuni fattori di resilienza (frutto di progetti locali ed europei ed anche di pianificazione urbana) che hanno già ottenuto risultati positivi in termini di migliore gestione delle risorse. Lo schema di lavoro su cui si impianta il documento è quello del grafico sottostante: ad ognuna delle vulnerabilità individuate dal Profilo Climatico Locale questo documento associa una o più strategie accompagnate per quanto possibile da obiettivi specifici misurabili. A sua volta, per ciascun obiettivo vengono definite le relative azioni (Figura 25).

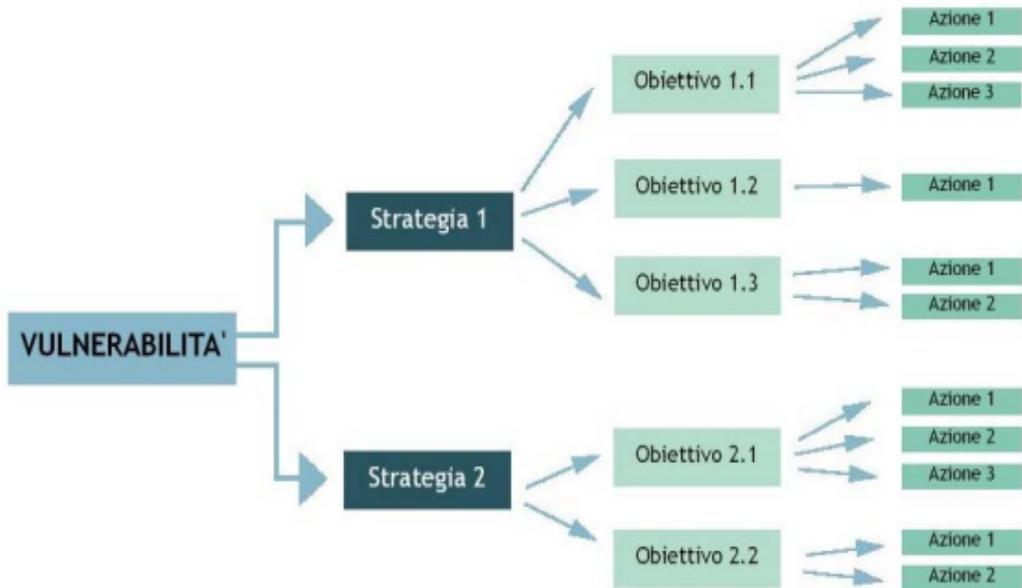


Figura 25 Dalle vulnerabilità alle strategie alla definizione delle specifiche azioni nell' area Bolognese

Il Piano identifica le strategie in grado di far fronte alle criticità evidenziate nel Profilo Climatico Locale e individua una serie di azioni che fanno riferimento alle buone pratiche individuate, a livello nazionale e internazionale, nella gestione del verde per il

raffrescamento degli ambienti interni ed esterni e quella delle acque, sia in termini di riduzione dei consumi che di gestione degli eventi meteorici intensi. Il piano fornisce per ogni fenomeno del cambiamento climatico indicazioni sul "cosa" fare e "come" farlo e presta particolare attenzione all'interazione tra i diversi livelli di governo del territorio e i soggetti interessati all'attuazione delle azioni del piano (che verranno direttamente coinvolti), cercando di integrare politiche e strumenti propri dell'amministrazione comunale con quelli sovracomunali. Tra i diversi fenomeni del cambiamento climatico vengono evidenziate quelle riguardanti il fenomeno delle isole di calore urbano. Di seguito si riporta le strategie e le relative azioni sulle ondate di calore (Figura 26).

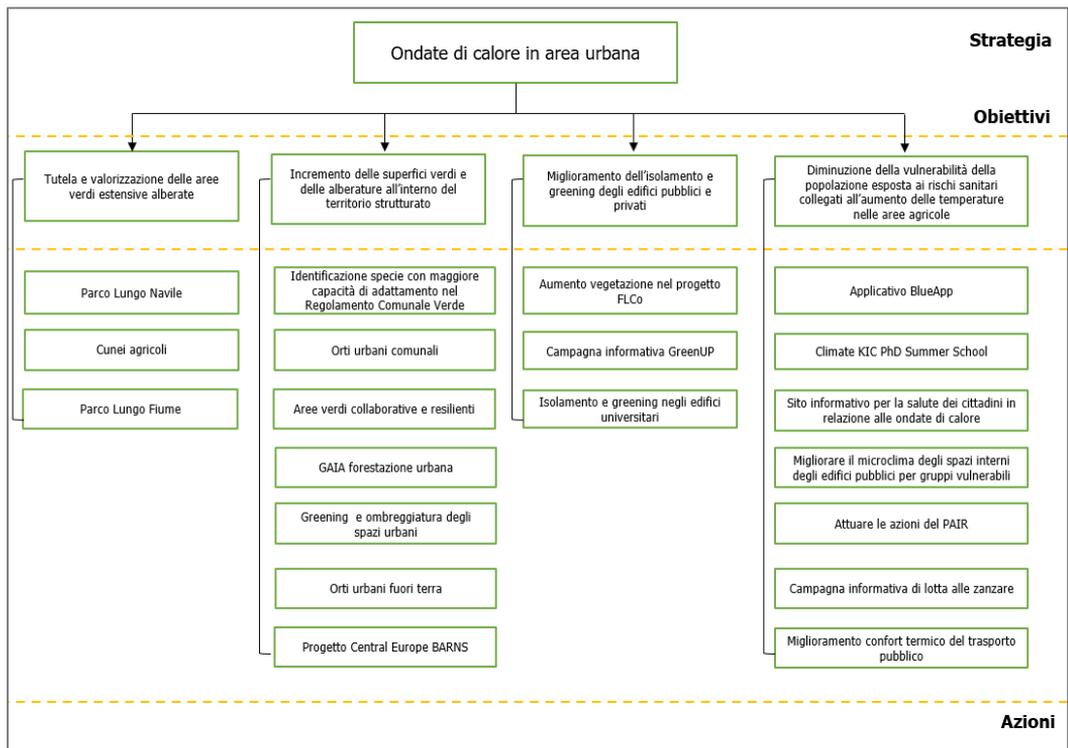


Figura 26 Azioni di adattamento delle aree urbane alle isole di calore urbano della città di Bologna

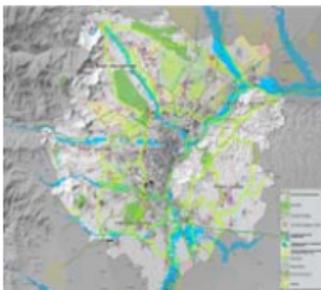
In particolare, si può notare che dal quadro operativo che gli obiettivi per ridurre il fenomeno delle isole di calore urbano vengono sviluppate su tre differenti scale: urbana, di quartiere e di edificio partendo dalla tutela e valorizzazione delle aree verdi, all'incremento delle superfici verdi, miglioramento dell'isolamento e greening degli edifici e diminuzione della vulnerabilità della popolazione esposta ai rischi.

L'insieme coordinato di tali obiettivi riducono le temperature di almeno 2-3 gradi all'interno delle aree urbane costituendo un migliore confort termico delle città. Inoltre, recentemente il Comune di Bologna ha elaborato un report di buone pratiche di adattamento. In particolare, il documento contiene una rassegna di misure utili a migliorare la capacità di adattamento dagli effetti del cambiamento climatico in ambito urbano. Nel dettaglio, le tipologie di intervento vanno dal greening urbano di strade ed edifici al miglioramento del drenaggio del terreno, al risparmio idrico. Gli interventi sono stati definiti in base alle best practices adottate nelle città europee (Figura 27). Inoltre, il documento stesso suggerisce un'ulteriore panoramica di iniziative e progetti attraverso "Periurban parks".



BLUE AP PROJECT

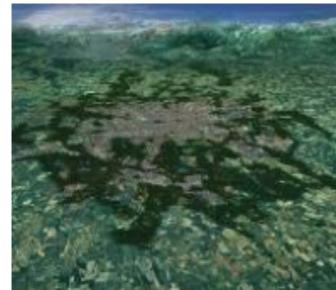
Buone pratiche di adattamento



Torino



Parigi



Milano



Londra



Toronto



Mosca

Figura 27 Le città europee considerate per l'attuazione di interventi green sul territorio bolognese

Le schede fanno riferimento a due principali tipologie di misure riconducibili principalmente alla gestione del verde e delle acque. Per quanto riguarda il verde gli interventi sono volti alla realizzazione di parchi periurbani; alberature stradali, percorsi a pergolato, tetti verdi (e tetti "cool"), pareti verdi, verde di balconata. Invece, per quanto riguarda le acque sono volti alla realizzazione di pavimentazioni permeabili, sistemi urbani di drenaggio sostenibile, raccolta e riuso delle acque di pioggia, separazione. Le misure presentate nelle schede sono state selezionate in funzione della loro possibile replicabilità sul territorio bolognese e si riferiscono a tecnologie che sono state sperimentate, anche su vasta scala, in diversi contesti nazionali e internazionali.

Infine, le schede tecniche di tale documento sono articolate: (i) descrizione sintetica della tipologia di intervento in ragione delle caratteristiche dell'area in cui si colloca l'intervento; (ii) informazioni tecniche e tecnologiche che delineano i criteri di realizzazione dell'intervento; (iii) gestione del tipo di intervento e le relative competenze di manutenzione; (iv) casi studio di altre città che hanno realizzato tali interventi mostrando anche la fattibilità e l'operatività degli interventi stessi.

Riferimenti bibliografici

- Archer, D., Almansi, F., DiGregorio, M., Roberts, D., Sharma, D., & Syam, D. (2014). Moving towards inclusive urban adaptation: approaches to integrating community-based adaptation to climate change at city and national scale. *Climate and Development*, 6(4), 345-356. <https://doi.org/10.1080/17565529.2014.918868>
- Buone pratiche di adattamento Bologna:
https://pdc.minambiente.it/sites/default/files/progetti/buonepratiche_blueap.pdf
- Cities100: Paris is using blue and green infrastructure to tackle city heat Adapting to Climate Change Climate Action Planning. https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Cities100-Paris-is-using-blue-and-green-infrastructure-to-tackle-city-heat?language=en_US climate change adaptation. *Environmental Hazards*, 14(2), 137-155.
- Errigo, M. F. (2018). The Adapting city. Resilience through water design in Rotterdam. *TeMA Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 11(1), 51-64. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/5402>
- European Commission (2013b). *Commission Staff Working Document. Climate change adaptation, coastal and marine issues*. <https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/adaptation/.pdf>
- Garschagen, M. (2014). *Risky change? Vulnerability and adaptation between climate change and transformation dynamics in Can Tho City, Vietnam* (Vol. 15). Stuttgart: Steiner. https://kups.ub.uni-koeln.de/5736/1/Abstract_english.pdf
- Giordano, R., Pilli-Sihvola, K., Pluchinotta, I., Matarrese, R., & Perrels, A. (2019). Urban adaptation to climate change: Climate services for supporting collaborative planning. *Climate Services*, 100. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2019.04.004>
- Hallegatte, S., & Corfee-Morlot, J. (2011). Understanding climate change impacts, vulnerability and adaptation at city scale: an introduction. *Climatic Change*, 104(1), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9981-8>
- IPCC (2018). Global Warming of 1.5°, an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Joakim, E. P., Mortsch, L., & Oulahan, G. (2015). Using vulnerability and resilience concepts to advance. <https://doi.org/10.1080/17477891.2014.1003777>
- Ng, E., & Ren, C. (2018). China's adaptation to climate & urban climatic changes: A critical review. *Urban Climate*, 23, 352-372. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.07.006>
- One New York 2050: Building a strong and fair city (2019)
<http://onenyc.cityofnewyork.us/#:~:text=OneNYC%202050%20is%20a%20strategy,a%20strong%20and%20fair%20city.>
- Paris Agreement GU L 282 del 19.10.2016, pagg. 4-18. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:22016A1019\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:22016A1019(01))
- Paris's adaptation strategy: Towards a more resilient city (2012). <https://api-site.paris.fr/images/76271>

Pelling, M. (2010). *Adaptation to climate change: from resilience to transformation*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203889046>

Piano Nazionale di adattamento ai Cambiamenti Climatici (2018). <https://pnacc.pdf>

Strategia locale di adattamento ai cambiamenti climatici della Città di Bologna (2012). https://pdc.minambiente.it/sites/default/files/uploads/Documenti%20progetti/strategia_locale_di_adattamento.pdf

The Mayor's climate change adaptation strategy in London (2011). https://www.london.gov.uk/sites/default/files/gla_migrate_files_destination/Adaptation-oct11.pdf

Visione strategica europea a lungo termine per un'economia prospera, moderna, competitiva e climaticamente neutra (COM 2018). Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC077>

CAPITOLO 3

VARIABILI, TECNICHE E MODELLI

3.1 Introduzione

Oke (1973) ha discusso della necessità per gli urbanisti di considerare le interazioni tra le condizioni climatiche e l'ambiente costruito ben 25 anni fa. Seppure la tematica sia stata affrontata e discussa da molti anni emergono ancora delle lacune sul tema delle isole di calore urbano, così come si evince nei primi due capitoli di questo volume. La prima è nella definizione accurata del manifestarsi di eventi climatici e studiarne la sua entità come ad esempio variazioni di temperatura, precipitazioni, umidità, vento e determinarne le cause. L'incidenza degli agenti esterni sulle caratteristiche urbane inevitabilmente influisce sull'aumentare del fenomeno delle UHI e comprendere la natura fisica è fondamentale per elaborare strategie di mitigazione o adattamento efficaci per ridurre gli impatti negativi e trarne vantaggio (Litt et al.,2022). Oggi si sente in modo sempre più stringente la necessità di trasmettere informazioni scientifiche in modo efficace ed efficiente al fine di incorporare considerazioni sul clima urbano nei loro processi decisionali. Alcuni ricercatori hanno sviluppato strumenti di supporto alle decisioni utili anche agli urbanisti per esplorare l'efficacia di vari scenari. Randall et al. (2003) hanno sviluppato un sistema di supporto alle decisioni basato sul sistema di informazione geografica che illustra i vantaggi delle strategie di inverdimento e al contempo fornisce suggerimenti su come piantare alberi lungo le strade. Shashua - Bar et al. (2006) ha creato uno strumento di progettazione che valuta gli effetti termici delle forme di strade residenziali e della vegetazione. Nicol & Roaf, (2005) hanno fornito linee guida per rendere gli edifici adatti ai climi futuri e creare ambienti costruiti che non contribuiscano a cambiamenti climatici indesiderati. In futuro, l'accoppiamento di schemi urbani all'interno di modelli mesoscala potrebbe consentire la valutazione di più strategie di adattamento UHI con la finalità di definire un piano d'azione adeguato (Acosta et al.,2021; Masson, 2006). In tale direzione, la finalità di questo capitolo è di mettere a punto uno strumento di supporto alle decisioni in ambiente GIS per classificare la vulnerabilità delle aree urbane al fenomeno delle isole di calore. Nel dettaglio lo strumento di supporto alle decisioni è definito attraverso la messa a punto di una metodologia descritta nei prossimi tre paragrafi di questo volume. Nel dettaglio, il paragrafo 3.2 definisce gli indicatori e le variabili che risultano essere ricorrenti nella letteratura scientifica nello studio del fenomeno delle isole di calore urbano. Per ciascuno

di questi indicatori descritti all'interno degli studi scientifici sono stati individuati i pesi che sono risultati essere significativi in accordo con i metodi impiegati per definirli al fine di comprendere l'influenza di ciascuna variabile rispetto al fenomeno considerato. A sua volta, si evidenzia la misura di ciascun indicatore considerato, a partire dai dati di input acquisiti dalle banche dati ufficiali. Nel paragrafo 3.3, invece, viene espressa la formula per pesare l'incidenza delle variabili e degli indicatori considerati. Successivamente viene descritto il modello di vulnerabilità adottato e le sue relative componenti. Inoltre, il contributo degli indicatori per ciascuna delle componenti nel calcolo composito della vulnerabilità delle aree urbane viene espresso attraverso un partizionamento in n classi mediante un opportuno metodo di classificazione tematica per intervalli di valori al fine di individuare le aree critiche dove intervenire prioritariamente. Di seguito si riporta lo schema di sintesi dell'intera metodologia (Figura 28).

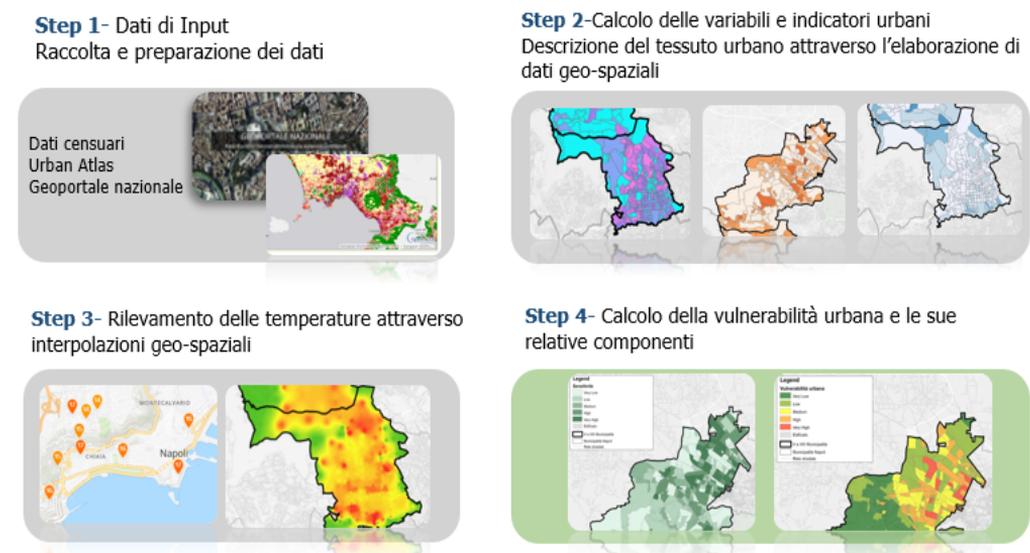


Figura 28 Fasi della metodologia per la misura della vulnerabilità delle aree urbane

3.2 Variabili interpretative e tecniche di interpolazione delle temperature

La città risulta essere un luogo fortemente dinamico e complesso richiedendo livelli di conoscenza sempre più dettagliati e controlli altrettanto elevati (Batty, 2009). I cambiamenti che rapidamente investono le realtà urbane possono essere di diversa natura sociale, economici, ambientali e a sua volta possono scaturire da fattori antropici

e naturali che necessitano la costruzione di un modello interpretativo capace di descriverne il comportamento e le tendenze evolutive. Tra le varie teorie interpretative che si sono succedute nel corso del tempo, la visione sistemica rappresenta il principale quadro di riferimento concettuale, secondo cui è possibile concepire l'insieme urbano come un sistema dinamicamente complesso (Papa et al., 1995; Fistola, 2008).

Tale complessità pone diverse sfide per l'interpretazione dei fenomeni che caratterizzano il sistema urbano. È necessario studiare le relazioni dinamiche sussistenti tra i molteplici sottosistemi (socioeconomico, fisico, funzionale e geomorfologico) di cui esso è composto. Risulta un'operazione tutt'altro che scontata e, soprattutto, non valida in senso assoluto. I diversi report e relazioni tecniche pubblicati dall'EEA uniti agli studi della letteratura scientifica di riferimento affermano che la vulnerabilità urbana relativa ai fenomeni di heat wave è correlata sia dalla morfologia urbana (ad esempio spazi aperti ombreggiati, superfici impermeabili, presenza di aree verdi) che alle condizioni meteorologiche come radiazione solare, temperatura, umidità e pressione atmosferica. In più, i fattori umani aggravano la condizione di vulnerabilità, come l'elevata densità di popolazione e la produzione di calore addizionale derivante da processi produttivi, trasporti e sistemi di raffrescamento artificiale (EEA, 2012b).

Quindi vengono individuati gli indicatori specifici che definiscono e identificano il fenomeno delle isole di calore urbano. Gli indicatori vengono classificati nei tre sottosistemi di cui è composto il sistema urbano così come si evince anche dalla Tab.3 adottando un approccio olistico sistemico (Papa et al., 1995; Gargiulo e Papa, 2021):

- sottosistema socioeconomico descrive la struttura compositiva della popolazione;
- sottosistema ambientale descrive le caratteristiche climatiche dell'area;
- sottosistema fisico descrive la localizzazione e la distribuzione degli spazi aperti e costruiti di interesse.

Le review delle variabili e gli indicatori presenti nella Tabella 3 sono quelli riconosciuti in letteratura scientifica come significative attraverso l'utilizzo di tecniche statistiche, in particolare analisi per componenti principali e modelli di regressione utili a definire un peso per ciascuna di esse. Tale review ha costituito il preludio per la definizione di un peso quantitativo a ciascuna delle variabili prese in considerazione all'interno di questo studio.

Indicatori	Pesi significativi	Metodi	Citazioni
<i>Sottosistema socioeconomico</i>			
Densità di popolazione	P=0.778; p=0.5	Principal component analysis, spatial clustering analysis	Wolf et al., 2013; Inostroza et al., 2016
Reddito medio pro-capite	p= -0.650; p= 0.953	multiple linear regression and Principal component analysis	Hondula et al., 2012; Inostroza et al., 2016
Reddito basso	p= 0.51	Principal component analysis	Maier et al., 2013
Livello di istruzione	p= 0.947	Principal component analysis	Inostroza et al., 2016
Basso livello di istruzione	p= 0.47; p= 0.799; p=0.12	Principal component analysis; multiple linear regression	Maier et al., 2013; Hondula et al., 2012; Inostroza et al., 2016
Popolazione con più di 65 anni	p= 0.305, p= -0.62; p=0.490; p=0.864; p=0.821	Analytic hierarchy process; multiple linear regression, Principal component analysis; spatial clustering analysis	Zhu et al., 2014; Hondula et al., 2012; Johnson et al., 2012; Wolf et al., 2013; Inostroza et al., 2016
Tasso di disoccupazione	p= 0.097	Analytic hierarchy process	Zhu et al., 2014
Popolazione inferiore ai 5 anni	p=0.160; p=827	Analytic hierarchy process; Principal component analysis	Zhu et al., 2014; Johnson et al., 2012
<i>Sottosistema ambientale</i>			
Crescita media annuale della temperatura	p=0.228; p=0.7; p=0.5	Analytic hierarchy process	Zhu et al., 2014; Hondula et al., 2012; Johnson et al., 2012
Numero di giorni con la temperatura massima giornaliera superiore a 35°C	p= 0.772	Analytic hierarchy process	Zhu et al., 2014
Land Surface temperature	p= 0.849; p= 0.936;	multiple linear regression; Principal component analysis	Hondula et al., 2012; Johnson et al., 2012
<i>Sottosistema Fisico</i>			
Densità del costruito	p= -0.702	multiple linear regression and Principal component analysis	Hondula et al., 2012
Copertura del suolo	p=31.5	multiple linear regression	

Vegetation Index	$p=0.892$; $p=0.1$; $p=20$	Principal component analysis; multiple linear regression	Johnson et al., 2012; Inostroza et al., 2016
Albedo	$p= 0.984$	Principal component analysis	Inostroza et al., 2016
Volume degli edifici	$p=1.5$	multiple linear regression	Sabrin et al., 2020
Altezza edifici	$p=1.5$; $p=0.41$	multiple linear regression	Sabrin et al., 2020

Tabella 3 Le variabili desunte dagli studi della letteratura scientifica

In ragione delle caratteristiche individuate significative in letteratura scientifica, è stato definito il set di indicatori e variabili che consentono da un lato di definire le condizioni climatiche di un'area urbana e dall'altro la morfologia e le caratteristiche dei tessuti urbani. Di seguito si riporta il set di variabili e di indicatori per tale lavoro di ricerca articolato in base alle caratteristiche urbane al fine di poter descrivere il fenomeno urbano (Tabella 4).

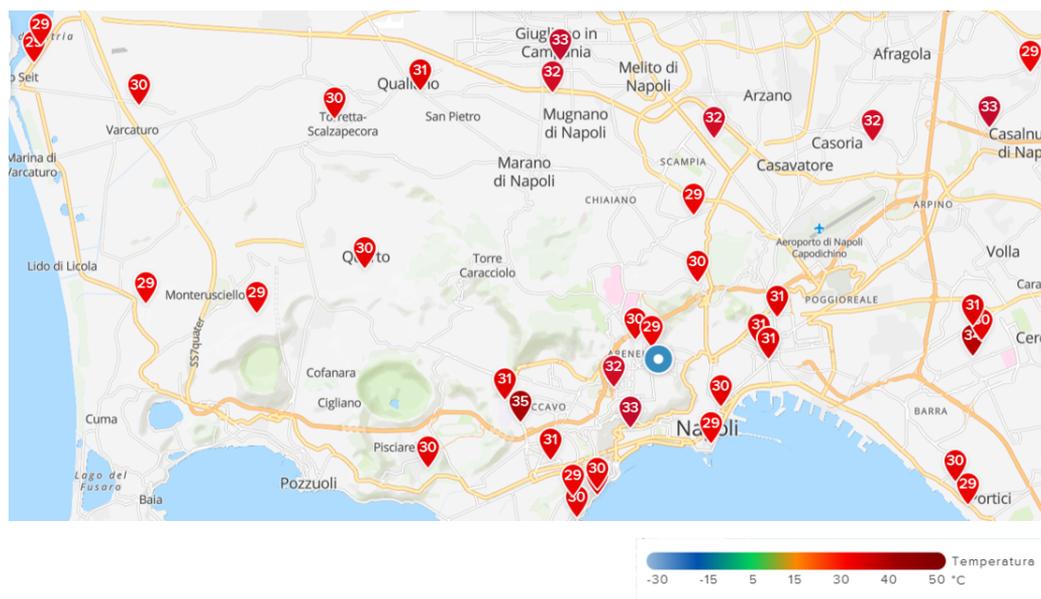
Variabili	Misura	Fonte
Set di variabili per misurare le isole di calore urbano		
Caratteristiche della popolazione		
Densità di Popolazione	Ab/m ²	ISTAT
Popolazione anziana	Ab	ISTAT
Caratteristiche ambientali		
Temperature medie	(°C)	Netatmo
Caratteristiche fisiche		
Densità del costruito	m ³ / m ²	Goportale Nazionale ISTAT
Altezza degli edifici	m	Goportale Nazionale
Edifici ad uso residenziali costruiti in muratura portante	n° edifici	ISTAT
Edifici ad uso residenziali costruiti in calcestruzzo armato	n° edifici	ISTAT
Edifici ad uso residenziali costruiti in legno	n° edifici	ISTAT
Edifici costruiti prima del 1950	n° edifici	ISTAT
Edifici costruiti prima tra 1950 e 1980	n° edifici	ISTAT
Edifici costruiti dopo 1980	n° edifici	ISTAT
Aree Verdi	m ²	Urban Atlas

Tabella 4. Parametrizzazione del set di variabili per misurare le isole di calore urbano

La parametrizzazione di ciascuna delle variabili è volta ad ottenere la misura delle caratteristiche urbane utili per la definizione di strategie e interventi. Dalla relativa tabella è possibile notare che le caratteristiche socioeconomiche sono state quantificate consultando le banche dati dell'istituto nazionale di statistica (ISTAT). I dati relativi alle caratteristiche fisiche mediante la banca dati della Corine Cover, il Geoportale Nazionale e tramite lo strumento GIS. Infine, le temperature attraverso la piattaforma Weathermap Netatmo. In particolare, Weathermap di Netatmo permette di controllare i dati relativi al meteo locale. Nel dettaglio, racchiude le informazioni sulle Stazioni Meteo. Tali stazioni effettuano il monitoraggio della temperatura, il livello delle precipitazioni e la velocità del vento di oltre 170 paesi, fornendo dati locali estremamente accurati (Figura 29).

Queste informazioni sono raccolte da sensori oltre che delle Stazioni Meteo Intelligenti, anche di Anemometri e Pluviometri, condivisi dagli utenti di tutto il mondo. La Stazione Meteo analizza l'ambiente interno ed esterno in tempo reale per l'unità minima territoriale, ovvero la sezione di censimento, fornendo un dato puntuale rispetto al rilevamento delle temperature attraverso satelliti.

Le temperature, per questo studio, sono state monitorate in tre fasce orarie della giornata (9:00; 13:00 e 18:00) e nei mesi più caldi dell'anno come giugno, luglio, agosto e settembre dove il susseguirsi di giorni consecutivi più caldi favorisce il fenomeno delle isole di calore urbano.



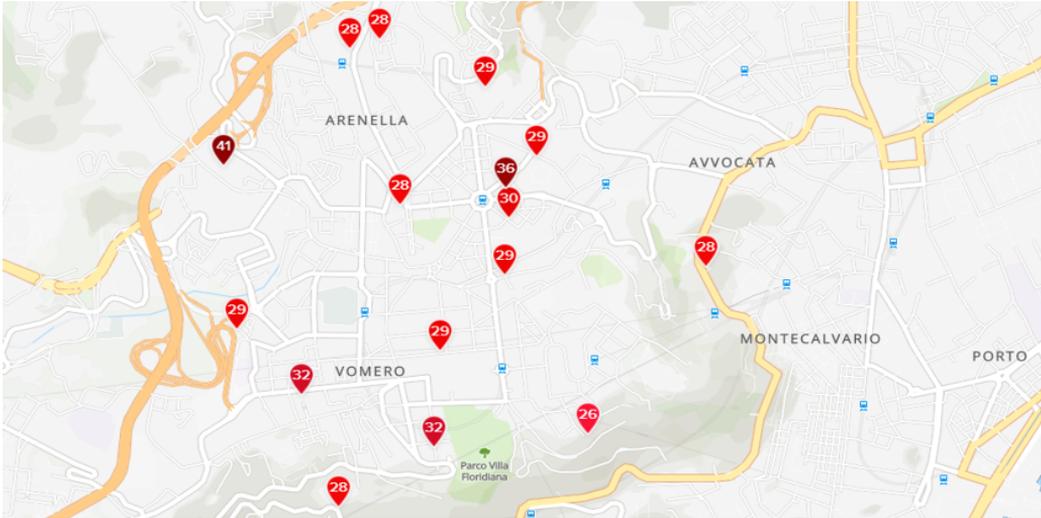


Figura 29 Esempio di registrazione delle temperature Weathermap Netatmo

Per ottenere una distribuzione continua delle temperature sono state impiegate tecniche di analisi spaziali. In particolare, sono state adoperate due tecniche di analisi spaziale IDW, l'acronimo di inverse distance weighting e Kriging in accordo anche con gli studi della letteratura scientifica di riferimento (Ozelkan et al., 2015; Zhao & Yue, 2021). La tecnica di interpolazione IDW (Inverse Distance Weighting) determina i valori delle celle tramite la combinazione ponderata linearmente di un insieme di punti campione. La ponderazione è funzione della distanza inversa. L'area che viene interpolata deve essere quella di una variabile dipendente dalla posizione e presuppone che l'influenza della variabile tracciata diminuisca con la distanza dalla posizione campionata così come si evince dalla Figura 30. Più un punto è vicino al centro della cella analizzata, maggiore è l'incidenza (o il peso) nella definizione della temperatura media.

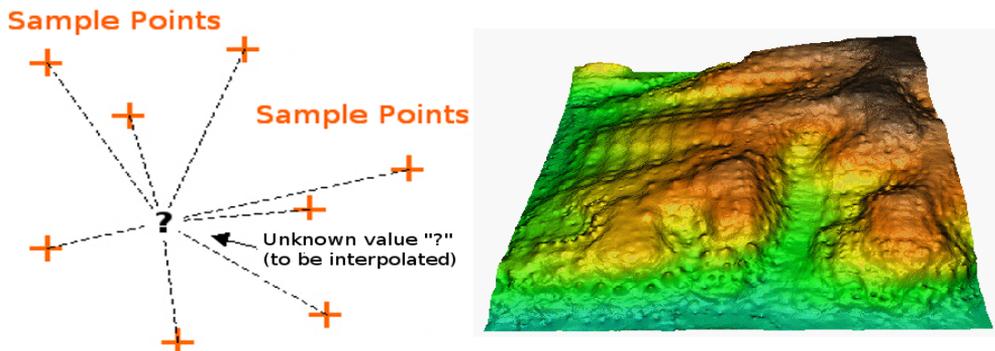
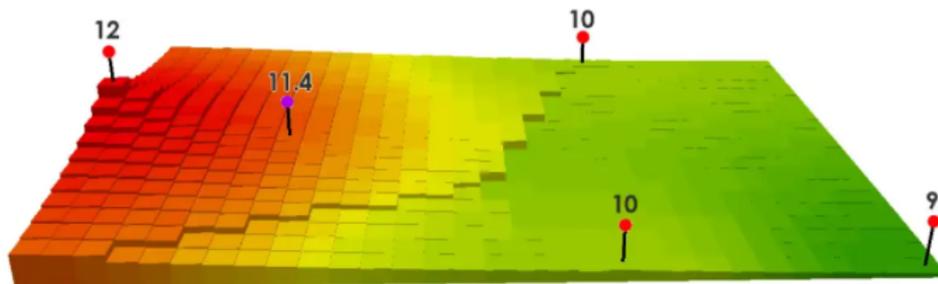


Figura 30 Schema di interpolazione inversa ponderata delle temperature (Mitas, L., Mitasova, H. 1999).

Lo strumento di interpolazione IDW (inverse Distance Weighted) è indicato come metodo di interpolazione deterministico perché si basa su valori misurati in punti circostanti del territorio e attraverso la seguente formula così come si evince dalla Figura 31.



• IDW

$$Z_j = \frac{\sum_i \frac{Z_i}{d_{ij}^n}}{\sum_i \frac{1}{d_{ij}^n}}$$

Z_i is value of known point
 D_{ij} is distance to known point
 Z_j is the unknown point
 n is a user selected exponent
 (often 1, 2 or 3)

Any number of points may be used up to all points in the sample; typically 3 or more

Figura 31 Formula di interpolazione dei punti attraverso il tool IDW

Il metodo kriging si basa su modelli statistici che includono l'autocorrelazione, e quindi relazioni statistiche tra i punti misurati. Per questo motivo, le tecniche geostatistiche non solo hanno la capacità di produrre una superficie di previsione, ma forniscono anche una certa misura della certezza o dell'accuratezza delle previsioni.

Kriging presuppone che la distanza o la direzione tra i punti campione rifletta una correlazione spaziale che può essere utilizzata per spiegare la variazione della superficie. Lo strumento Kriging adatta una funzione matematica a un numero specificato di punti, all'interno di un raggio specifico, per determinare il valore di output per ciascuna posizione. Il kriging è un processo a più fasi; include l'analisi statistica esplorativa dei dati, la modellazione del variogramma, la creazione della superficie e (facoltativamente) l'esplorazione di una superficie di varianza. Il metodo kriging è più appropriato quando si conosce la distanza correlata spazialmente o una distorsione direzionale nei dati. È spesso usato nella scienza del suolo e nella geologia. Data la manca di dati così accurati

sulle temperature, questo lavoro di ricerca ha assunto come metodo di interpolazione delle temperature Inverse Distance Weighting (IDW). La definizione delle temperature in modo più accurato si è relazionata con le caratteristiche urbane del territorio al fine di voler comprendere la vulnerabilità delle aree urbane. Il modo con cui è stata analizzata tale vulnerabilità viene declinato nel paragrafo successivo.

3.3 Modello di stima della vulnerabilità delle aree urbane alle isole di calore

Il concetto di vulnerabilità ha acquisito negli ultimi anni sempre un maggiore rilievo nel dibattito scientifico rappresentando un elemento fondamentale di conoscenza per tutte quelle attività umane mirate alla riduzione degli impatti climatici attraverso l'adattamento (Francini et al., 2021).

Tale predisposizione va misurata quantitativamente mediante indicatori in grado di restituire il comportamento e le prestazioni offerte dal sistema urbano rispetto a un determinato hazard (Maragno et al., 2021; Furlan et al., 2021). In particolare, questo studio esamina la vulnerabilità secondo il modello dell'International Panel of Climate Change, ovvero il modello proposto AR4 (Figura 32) e in accordo con la strategia nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici (PNACC).

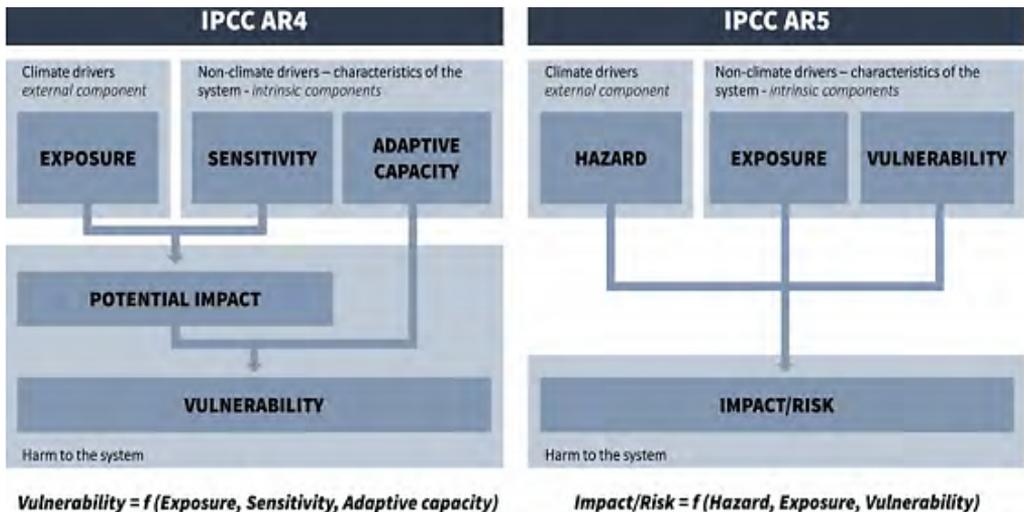


Figura 32 Modello di stima della vulnerabilità delle aree urbane alle UHI

Gli indicatori sono stati riclassificati nelle tre componenti di cui è composta la vulnerabilità (Figura 33) così come segue:

-**Esposizione (e)**: definisce gli eventi meteorologici e climatici che una città subisce (Alexander et al.2006);

-**Sensitività (s)**: definisce il grado con cui le persone reagiscono ai cambiamenti climatici e ai loro effetti (Riegel et al., 2013);

-**Capacità adattiva (a)**: definisce la capacità di gestire gli effetti negativi delle isole di calore urbano cogliendo le opportunità che si presentano e riducendo gli effetti attraverso azioni preventive e precauzionali (Rosenzweig et al., 2011).

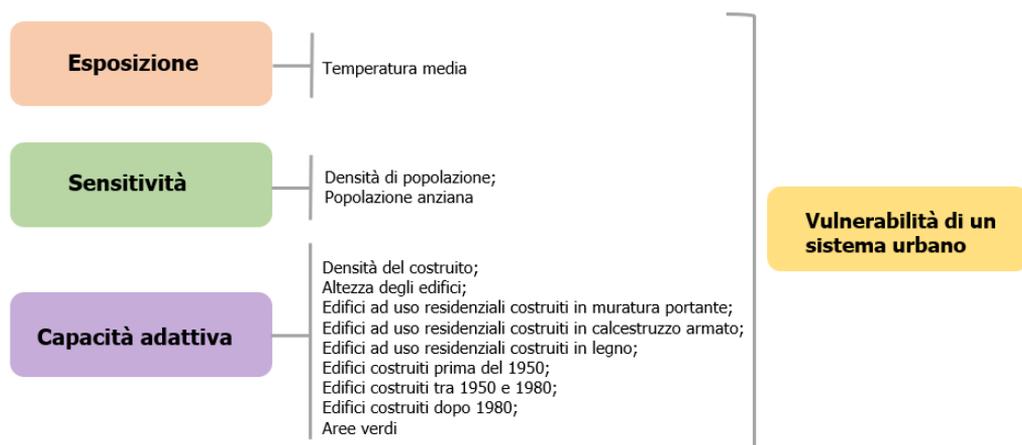


Figura 33 Indicatori che definiscono la vulnerabilità del sistema urbano

Data la diversa natura del set di indicatori, ciascuno di essi è stato normalizzato al fine di avere un'unica misura su una scala di valori da 0 a 1, costituendo anche il metodo maggiormente condiviso in ambito scientifico così come si evince nel framework degli indici di vulnerabilità (Kershaw & Millward, 2012; Nayak et al.,2018). Tra i diversi metodi di normalizzazione è stato impiegato il metodo di normalizzazione dei minimi (Min) e massimi (Max) di Scaling così come riportato nella seguente formula:

$$x_i = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

Successivamente, per ciascuna delle componenti esposizione, sensitività e capacità di adattamento è stato definito il peso di ciascuna delle variabili prese in considerazione.

Il peso delle variabili è stato definito attraverso una media pesata di ciascuna delle caratteristiche prese in considerazione delineando il fattore contributivo di ciascuna componente della vulnerabilità mediante la seguente formula:

$$I_{e,s,a} = \frac{w_1 * x_{1,1} + w_2 * x_{2,1} + w_n * x_{n,1}}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

il peso di ciascuna delle componenti della vulnerabilità delinea al contempo l'importanza di una caratteristica urbana rispetto agli altri valori considerati. Definito il fattore contributivo di tali caratteristiche, in accordo con le teorie dell'IPCC, la vulnerabilità, in questo lavoro di ricerca, viene calcolata come la somma tra l'esposizione e la sensibilità meno la capacità di adattamento della j-esima area di riferimento, così come riportato nella seguente formula (Manik & Syaukat, 2014; Hahn, Riederer et.al, 2009).

$$Vulnerabilità\ di\ un\ sistema\ urbano = (E_j + S_j - A_j)$$

A sua volta, la vulnerabilità di un sistema urbano e le sue relative componenti vengono implementate in ambiente GIS con la finalità di restituire in forma grafica gli elementi territoriali più vulnerabili al fenomeno delle isole di calore urbano. Nel dettaglio, la classificazione territoriale è avvenuta attraverso un partizionamento in n classi di equivalenza di un insieme di elementi tematici prendendo in considerazione uno specifico attributo o campo numerico del tematismo. Ogni classe è identificata dagli estremi inferiore e superiore dell'intervallo di valori dell'attributo, detti break con la finalità di evidenziare le discontinuità urbane in ragione dei valori ottenuti. In particolare, tale studio identifica ciascuna delle componenti della vulnerabilità suddivisa in 5 classi, con l'obiettivo di individuare le aree dove intervenire prioritariamente al fine di fornire un supporto alle decisioni per le pubbliche amministrazioni. La possibilità di quantificare e localizzare le principali criticità in un territorio costituisce una premessa indispensabile per programmare strategie e interventi adeguati all'attuazione di misure sia di mitigazione che adattamento ai cambiamenti climatici

Riferimenti bibliografici

- Acosta, M. P., Vahdatikhaki, F., Santos, J., Hammad, A., & Dorée, A. G. (2021). How to bring UHI to the urban planning table? A data-driven modeling approach. *Sustainable Cities and Society*, *71*, 102948. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102948>
- Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G., ... & Vazquez-Aguirre, J. L. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *111*(D5). <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>
- Batty M. (2009), "Cities as complex systems: scaling, interactions, networks, dynamics and urban morphologies", in Meyers R. (ed.), *Encyclopaedia of Complexity and Systems Science*, pp. 1041-1071. ISSN 1467-1298
- C. Riegel, A. Trum, C. Maximini, D. Vallée Klimaschutzteilkonzept "Anpassung an den Klimawandel für die Städte Solingen und Remscheid (2013). Retrived from: http://www.bergischesdreieck.de/fileadmin/user_upload/wirtschaftsregion/PDFs/Regionales_Klimaschutzteilkonzept_Klimawandel.pdf
- C. Rosenzweig, W.D. Solecki, S.A. Hammer, S. Mehrohtra (Eds.), Climate change and cities first assessment report of the urban climate change research.
- EEA (2012b), *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. An indicator-based report*. EEA Report n° 12/2012, European Environment Agency, Copenhagen
- Fistola R. (2008), *Gis. Teoria ed applicazioni per la pianificazione, la gestione e la protezione della città*, Gangemi, Roma. ISBN 978-88-492-9273-2
- Francini, M., Chieffallo, L., Palermo, A., & Viapiana, M. F. (2020). A Method for the Definition of Local Vulnerability Domains to Climate Change and Relate Mapping. Two Case Studies in Southern Italy. *Sustainability*, *12*(22), 9454. <https://doi.org/10.3390/su12229454>
- Furlan, E., Dalla Pozza, P., Michetti, M., Torresan, S., Critto, A., & Marcomini, A. (2021). Development of a Multi-Dimensional Coastal Vulnerability Index: assessing vulnerability to inundation scenarios in the Italian coast. *Science of The Total Environment*, *772*, 144650. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144650>
- Gargiulo, C., & Papa, R. (2021). Chaos and chaos: the city as a complex phenomenon. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, *14*(2), 261-270. <https://doi.org/10.6093/1970-9870/8273>
- Hahn, M. B., Riederer, A. M., & Foster, S. O. (2009). The Livelihood Vulnerability Index: A pragmatic approach to assessing risks from climate variability and change—A case study in Mozambique. *Global environmental change*, *19*(1), 74-88. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.11.002>
- Hondula, D. M., Davis, R. E., Leisten, M. J., Saha, M. V., Veazey, L. M., & Wegner, C. R. (2012). Fine-scale spatial variability of heat-related mortality in Philadelphia County, USA, from 1983-2008: a case-series analysis. *Environmental health*, *11*(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-11-16>
- Inostroza, L., Palme, M., & de la Barrera, F. (2016). A heat vulnerability index: spatial patterns of exposure, sensitivity, and adaptive capacity for Santiago de Chile. *PLOS one*, *11*(9), e0162464. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162464>
- IPCC 2007. Climate Change Glossary: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.slvwd.com/sites/g/files/vyhlif1176/f/uploads/item_10b_4.pdf

- Johnson, D. P., Stanforth, A., Lulla, V., & Luber, G. (2012). Developing an applied extreme heat vulnerability index utilizing socioeconomic and environmental data. *Applied Geography, 35*(1-2), 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.04.006>
- Kershaw, S. E., & Millward, A. A. (2007). A spatio-temporal index for heat vulnerability assessment. *Environmental monitoring and assessment, 184*(12), 7329-7342. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2502-z>
- Litt, G., Ferraioli, E., Magni, F., Lucertini, G., & Musco, F. (2022). Inter-Municipal Methodology for Climate Transition Strategies: The First Case in Italy. *Sustainability, 14*(5), 2529. <https://doi.org/10.3390/su14052529>
- Lowry, W. P. (1977). Empirical estimation of urban effects on climate: a problem analysis. *Journal of Applied Meteorology and Climatology, 16*(2), 129-135. <https://doi.org/10.1175/1520-0450>
- Maier, G., Grundstein, A., Jang, W., Li, C., Naeher, L. P., & Shepherd, M. (2014). Assessing the performance of a vulnerability index during oppressive heat across Georgia, United States. *Weather, climate, and society, 6*(2), 253-263. <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-13-00037.1>
- Manik, T. K., & Syaukat, S. (2014). The impact of urban heat islands: assessing vulnerability in Indonesia. International Institute for Environment and Development. ISSN 2231-4784
- Maragno, D., dall'Omo, C. F., Pozzer, G., & Musco, F. (2021). Multi-risk climate mapping for the adaptation of the venice metropolitan area. *Sustainability, 13*(3), 1334. <https://doi.org/10.3390/su13031334>
- Masson, V. (2006). Urban surface modeling and the meso-scale impact of cities. *Theoretical and applied climatology, 84*(1), 35-45. <https://doi.org/10.1007/s00704-005-0142-3>
- Nayak, S. G., Shrestha, S., Kinney, P. L., Ross, Z., Sheridan, S. C., Pantea, C. I., ... & Hwang, S. A. (2018). Development of a heat vulnerability index for New York State. *Public Health, 161*, 127-137. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2017.09.006>
- Nicol, F., & Roaf, S. (2005). Post-occupancy evaluation and field studies of thermal comfort. *Building research & information, 33*(4), 338-346. <https://doi.org/10.1080/09613210500161885>
- Oke, T. R. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment (1967), 7*(8), 769-779. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(73\)90140-6](https://doi.org/10.1016/0004-6981(73)90140-6)
- Ozelkan, E., Bagis, S., Ozelkan, E. C., Ustundag, B. B., Yucel, M., & Ormeci, C. (2015). Spatial interpolation of climatic variables using land surface temperature and modified inverse distance weighting. *International Journal of Remote Sensing, 36*(4), 1000-1025. <https://doi.org/10.1080/01431161.2015.1007248>
- Papa R., Battarra R., Fistola R., Gargiulo C. (1995). La città come sistema complesso in crisi strutturale: strumenti e tecniche per il governo metropolitano, Fondazione Aldo Della Rocca, studi urbanistici, vol. XX. Giuffrè, Milano.
- Randall, T. A., Churchill, C. J., & Baetz, B. W. (2003). A GIS-based decision support system for neighbourhood greening. *Environment and Planning B: Planning and Design, 30*(4), 541-563. <https://doi.org/10.1068/b12970>
- Sabrin, S., Karimi, M., Fahad, M. G. R., & Nazari, R. (2020). Quantifying environmental and social vulnerability: Role of urban Heat Island and air quality, a case study of Camden, NJ. *Urban Climate, 34*, 100699. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100699>

- Shashua-Bar, L., Hoffman, M. E., & Tzamir, Y. (2006). Integrated thermal effects of generic built forms and vegetation on the UCL microclimate. *Building and environment*, 41(3), 343-354. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.032>
- Wolf, T., & McGregor, G. (2013). The development of a heat wave vulnerability index for London, United Kingdom. *Weather and Climate Extremes*, 1, 59-68.
- Zhao, N., & Yue, T. (2021). HASM-Based Downscaling Simulation of Temperature and Precipitation and Scenario Prediction in the Heihe River Basin. In *High Accuracy Surface Modeling Method: The Robustness* (pp. 169-187). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4027-8_9

CAPITOLO 4

MISURARE LA VULNERABILITÀ DELLE AREE URBANE IL CASO STUDIO DI NAPOLI

4.1 Descrizione dell'area oggetto di sperimentazione

La metodologia proposta è stata sperimentata nella V e VIII municipalità del Comune di Napoli che, pur presentando lo stesso numero di abitanti, hanno profonde differenze in termini di caratteristiche socioeconomiche, insediative, geomorfologiche e funzionali. Più nel dettaglio, la V municipalità è caratterizzata da quartieri centrali sviluppati tra l'Ottocento e il Novecento (Vomero) o da antichi piccoli borghi che hanno ceduto alla fortissima espansione insediativa degli anni '60 - '70 dello scorso secolo (Arenella), dotati delle caratteristiche funzionali proprie del centro cittadino (Figura 34).

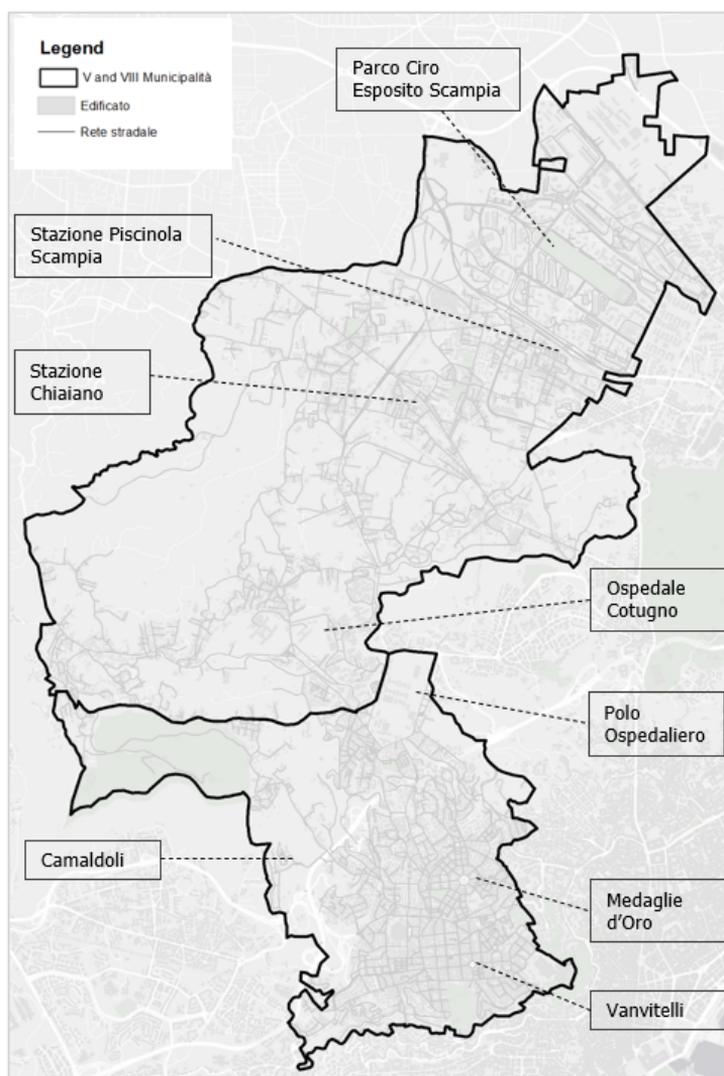


Figura 34 Il caso studio della V e VIII Municipalità di Napoli

Nel dettaglio, il quartiere Vomero è caratterizzato da un tessuto compatto e pianificato, realizzato su un disegno unitario. In pratica, questo quartiere è disegnato con uno schema a scacchiera, molto simile alle zone di Piazza Vanvitelli e Medaglie d'Oro. Il quartiere Arenella, invece, è di formazione più recente rispetto al quartiere Vomero, e comprende aree come quelle relative al quartiere Rione Alto, adiacenti alla zona ospedaliera, al Policlinico e a via Domenico Fontana (Fig.22). Queste aree sono caratterizzate da un tessuto non pianificato, in cui il processo edilizio è iniziato come conseguenza della saturazione edilizia del vicino quartiere Vomero. La conformazione orografica collinare del territorio napoletano (da 150 a 375 m slm) influenza la scelta degli spazi, rappresentando così un elemento importante nella definizione di strategie e politiche per il fenomeno delle isole di calore urbano. L'VIII municipalità invece include quartieri periferici, che un tempo rappresentavano il ricco e fertile serbatoio agricolo napoletano ma che, la miope politica espansiva (Scampia) o l'espansione spontanea e senza controllo (Chiaiano e Piscinola) degli ultimi 50 anni hanno relegato ad aree a forte disagio economico, sociale ed insediativo lasciandole prive sia dei servizi essenziali che dei servizi generali che costituiscono gli elementi di base su cui costruire "effetto comunità" (Figura 34). I quartieri di Chiaiano, Piscinola e Scampia sono considerati quartieri periferici della città di Napoli il cui tessuto urbano è pianificato su un'edilizia economica e popolare riflettendo il profilo sociale dell'area che si manifesta con problematiche legate alla povertà, alla bassa scolarizzazione, alla genitorialità precoce e alla carente cura degli anziani. Il divario tra le aree urbane emerge anche da un punto di vista dell'intensità d'uso che si svolge all'interno dello spazio urbano, che fanno sì da evidenziare i quartieri di Vomero e Arenella come quartieri cosiddetti, "agiati" e quelli invece connotabili come "disagiati" per i quartieri dell'VII municipalità di Napoli. Inoltre, delle dieci municipalità di cui è composta la città di Napoli è stata esaminata la V Municipalità perché presenta una densità abitativa pari a 16.169,54 ab/Km² più alta rispetto alle altre municipalità di Napoli che si contrappone al quartiere e al contempo si differenzia dall'VIII municipalità che presenta una densità abitativa 5.307,51 ab. /km². La prima parte del lavoro di ricerca è stata volta a definire l'intero set di indicatori al caso studio esaminato relativa all'unità minima di riferimento, ovvero la sezione censuaria in

Questa prima parte del lavoro ha consentito di comprendere in prima battuta l'andamento delle temperature sul contesto territoriale esaminato nei diversi archi temporali della giornata (Figura 36). Il grafico evidenzia un delta di variazione per ciascuna delle fasce orarie esaminate tra 4-5 gradi e con una temperatura media che va per le 9:00 del mattino intorno ai 28 gradi mentre per le altre due fasce orarie all'incirca 32-33 gradi.

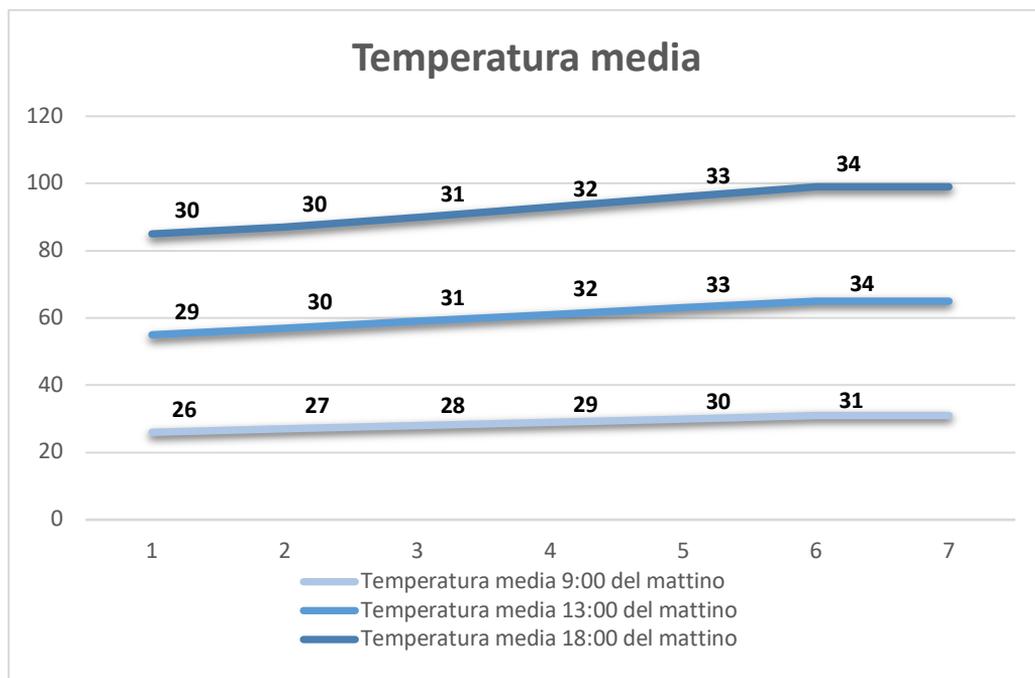


Figura 36 Temperatura media V e VIII Municipalità di Napoli

Al fine di effettuare un'analisi più puntuale in grado di poter fornire una conoscenza completa sul territorio in ambiente GIS è stato utilizzato un metodo di interpolazione spaziale. L'interpolazione spaziale è il processo con cui si usano dei punti aventi dei valori conosciuti per stimare i valori di altri punti sconosciuti. L'interpolazione spaziale è in grado di stimare le temperature nelle località senza dati registrati utilizzando le temperature registrate dalle stazioni vicine. In più, IDW presuppone che ogni punto misurato abbia un'influenza locale che diminuisce con la distanza. Assegna pesi maggiori ai punti più vicini alla posizione di previsione e i pesi diminuiscono in funzione della distanza, da cui il nome distanza inversa ponderata.

i pesi sono proporzionali all'inverso della distanza (tra il punto dati e la posizione di previsione) elevato al valore di potenza p . Di conseguenza, all'aumentare della distanza, i pesi diminuiscono rapidamente. La velocità con cui i pesi diminuiscono dipende dal valore di p . Se $p = 0$, non c'è diminuzione con la distanza, e poiché ogni peso λ_i è lo stesso, la previsione sarà la media di tutti i valori dei dati nell'intorno di ricerca. All'aumentare di p , i pesi per i punti distanti diminuiscono rapidamente. Se il valore p è molto alto, solo i punti immediatamente circostanti influenzeranno la previsione Figura 37.

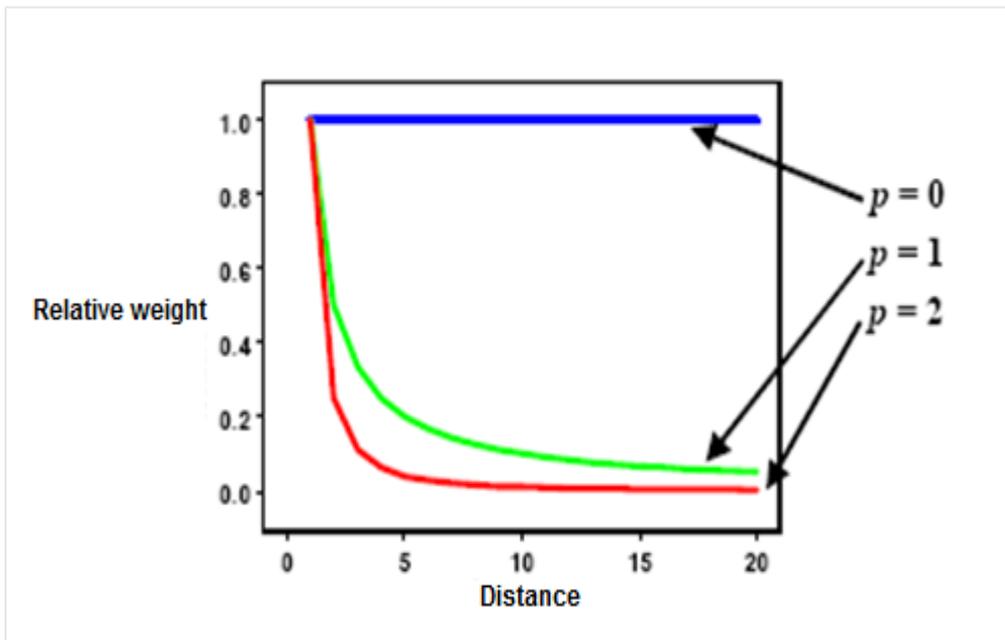


Figura 37 Diminuzione del peso al variare della distanza

In GIS, l'utilizzo di tecniche di interpolazione spaziale di questo tipo consente di creare una superficie raster con le relative stime calcolate per ogni cella. Di conseguenza, è pratica comune limitare il numero di valori misurati ad una scala di quartiere. La forma del quartiere limita la distanza e la posizione in cui cercare i valori misurati da utilizzare nella previsione. A tal fine, tale metodo è stato messo a punto sull'area oggetto di studio con l'obiettivo di definire le temperature relative all'intero quartiere anche in punti non noti sull'intera area oggetto di studio. Di seguito si riportano le mappe ottenute per le tre fasce orarie definite (Figura 38, 39 e 40).

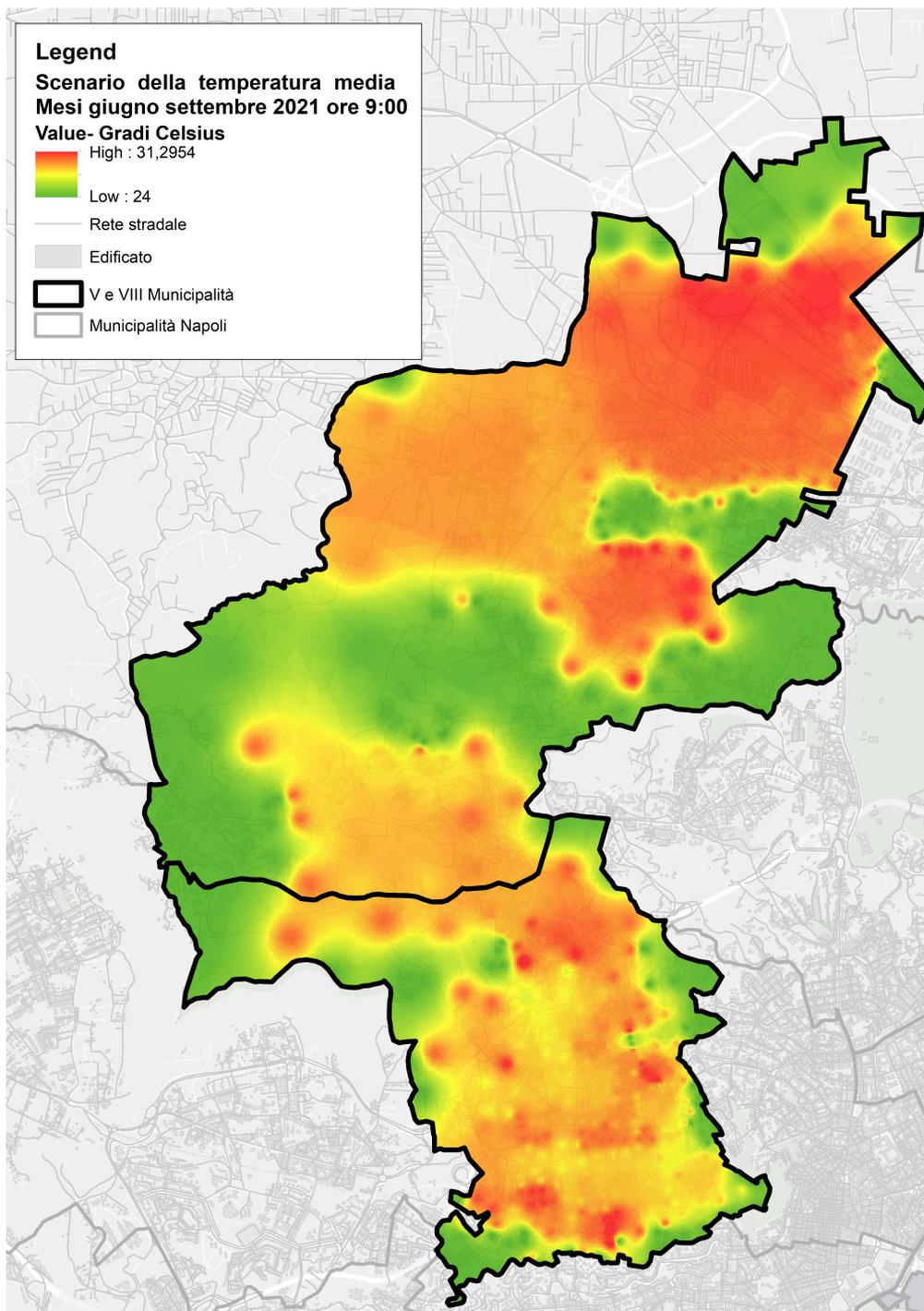


Figura 38 Scenario delle temperature medie ore 9:00 della V e VIII Municipalità di Napoli

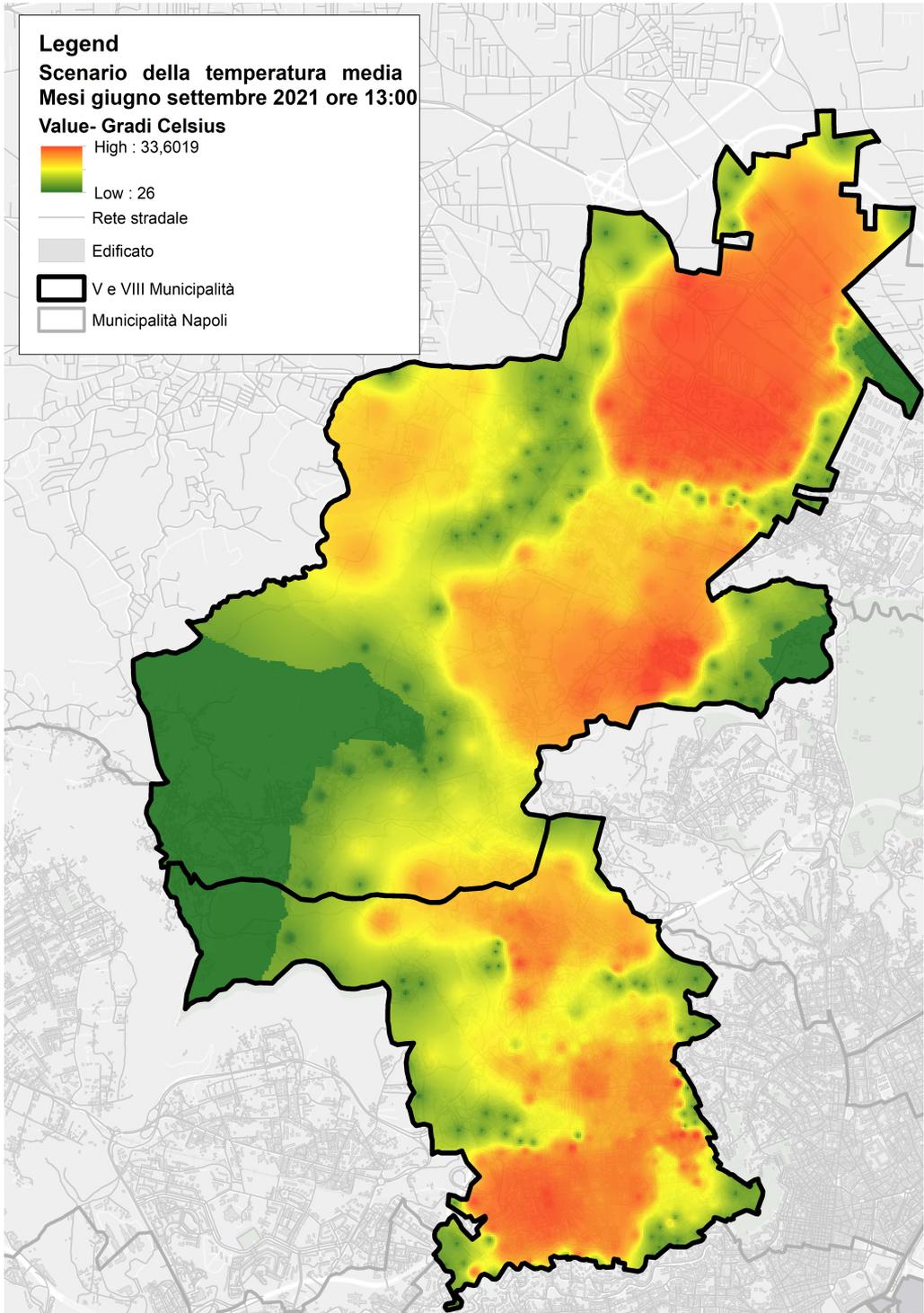


Figura 39 Scenario delle temperature medie ore 13 della V e VIII Municipalità di Napoli

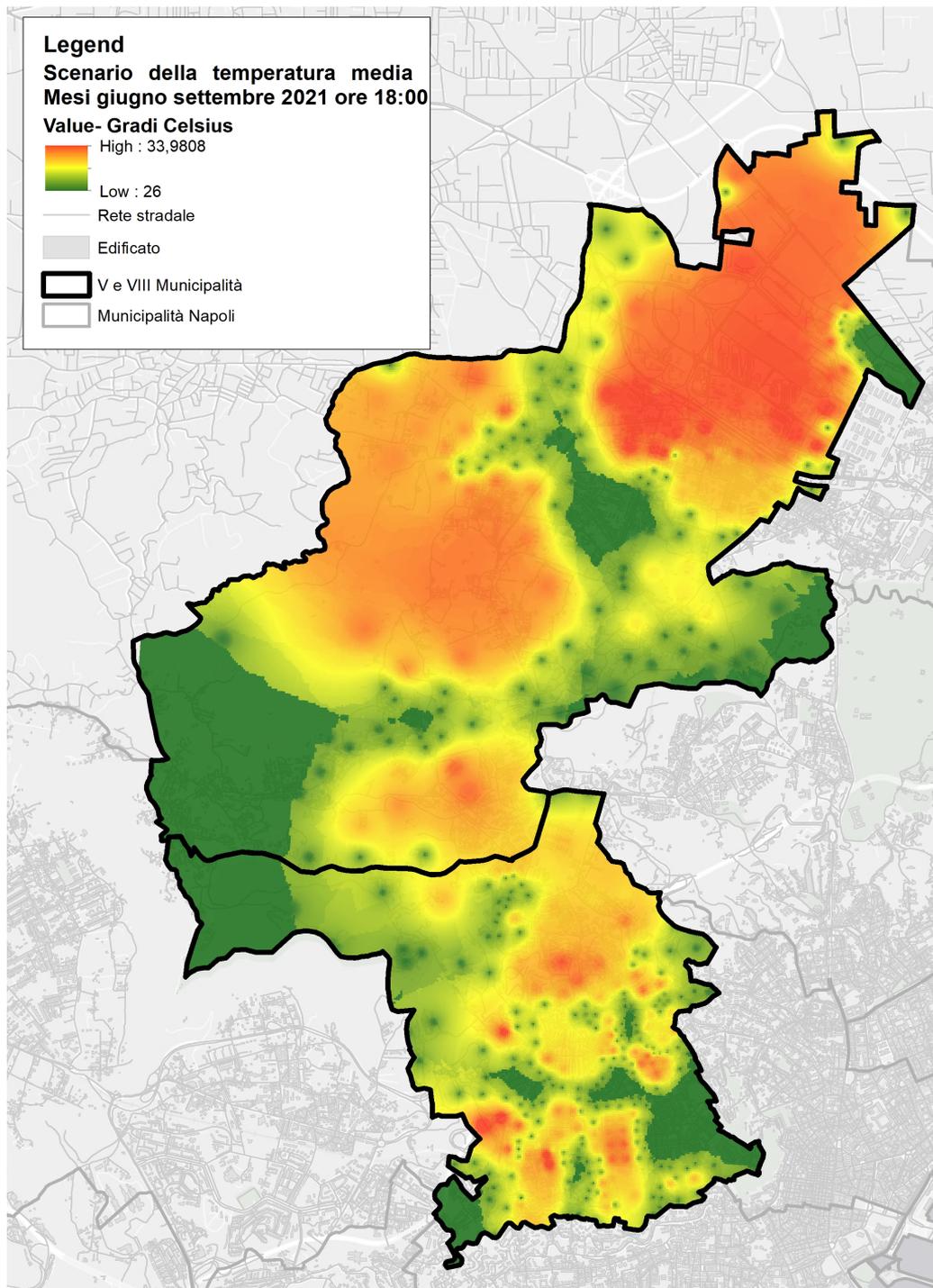


Figura 40 Scenario delle temperature ore 18 della V e VIII Municipalità di Napoli

La lettura comparata di queste tre mappe (Figura 38, 39 e 40) evidenzia dei punti "caldi" nelle due municipalità oggetto di studio. In particolare, per la V municipalità le partizioni urbane maggiormente colpite sono nella parte centrale del quartiere come Piazza Vanvitelli e Piazza Medaglie d'oro dove le temperature risultano registrarsi soprattutto alle 13:00 di circa 32 gradi per diversi giorni consecutivi.

La medesima situazione si ritrova nell'area di più recente formazione della V municipalità come Rione Alto dove invece le temperature si aggirano tra i 31 e 32 gradi nelle fasce orarie 9:00 e 13:00 mentre sull'intero quartiere le temperature risultano essere più basse, ma sempre intorno ai 30 gradi. Nelle aree continue all'area del Rione Alto le temperature risultano essere più basse (dal colore verde) dovuto ad una maggiore permeabilità del suolo soprattutto in corrispondenza del Parco dei Camaldoli.

Per quanto riguarda, VIII municipalità, le mappe mostrano tre aree sensibili alle elevate temperature. La prima, nell'area nelle vicinanze del Parco Ciro Scampia e nell'area adiacente ad essa sia nella parte nord-ovest che nord-est per le tre fasce orarie considerate presentando un colore rosso-arancio. La seconda, in prossimità della stazione Piscinola-Scampia, le temperature sono elevate per le due fasce orarie 9:00 e 13:00 mentre inferiori per le ore 18:00. La terza, in prossimità della stazione Chiaiano, le temperature sembrano mostrarsi sempre elevate con temperature intorno i 32 gradi. L'area sud-ovest del quartiere presenta temperature inferiori in tutte e tre le mappe dovuta ad una maggiore permeabilità del suolo data la presenza della selva di Chiaiano. Il rilevamento delle temperature medie sull'area oggetto di studio ha consentito di comprendere le aree maggiormente sensibili al fenomeno delle isole di calore urbano. Inoltre, ha costituito il preludio per la definizione di una delle componenti della vulnerabilità, ovvero l'esposizione.

4.3 Risultati e discussione delle componenti della vulnerabilità

L'indice di vulnerabilità al calore urbano, in questo studio, è stato sviluppato sulla base di analisi spaziale condotte attraverso i sistemi geografici informatici (GIS). I modelli spaziali di vulnerabilità al calore sono stati mappati rispetto al tessuto urbano considerato utilizzando come unità minima territoriale la sezione di censimento.

L'indice di vulnerabilità è stato definito in funzione degli impatti delle singole tre componenti della vulnerabilità: esposizione (e); sensitività (s) e capacità di adattamento (a). All'interno del modello impiegato, sono state fornite quantificazioni separate delle tre componenti per determinare le variazioni dei livelli di vulnerabilità come combinazioni di singoli parametri. Questo approccio può fornire indicazioni migliori per la definizione delle politiche rispetto alla quantificazione della vulnerabilità nel suo insieme. I risultati ottenuti dall'esposizione nascono prima dalla normalizzazione delle temperature ottenute attraverso l'utilizzo dell'Inverse distance weighted (IDW) per le tre fasce orarie considerate così come si evince nelle mappe precedenti. I risultati ottenuti seguono uno schema spaziale molto chiaro (Figura 41). I valori più bassi si evincono per l'VIII municipalità intorno la cintura di verde del quartiere mentre nella V municipalità intorno il parco dei Camaldoli presentandosi di colore giallo e arancio chiaro.

L'esposizione aumenta verso il centro del quartiere della V municipalità così come si evince nell'area di Piazza Vanvitelli e Piazza Medaglie d'oro e nell'area di più recente formazione come il Rione Alto. Lo stesso accade nell'VIII municipalità, dove i valori più alti si evincono nell'area adiacente al Parco Ciro Esposito e nelle aree adiacenti alle stazioni su ferro di Piscinola-Scampia e Chiaiano. Entrambe le aree, inoltre presentano un elevato mix di funzioni ed un'elevata densità abitativa definendo un calore di origine antropica che comporta un'ulteriore alterazione del microclima urbano. I risultati ottenuti dalla sensitività tengono conto di indicatori come la densità di popolazione e la popolazione anziana.

La Figura 42 evidenzia un'elevata sensitività nelle aree limitrofe a Piazza Vanvitelli e Piazza Medaglie D'oro dove si evidenzia la concomitanza di un'elevata densità di popolazione e anche anziana dimostrandosi le aree maggiormente attaccabili al fenomeno delle isole di calore urbano. La V municipalità di Napoli si presenta di per sé un quartiere con un'elevata densità abitativa rispetto tutte le altre municipalità di Napoli e al contempo con una percentuale di anziani di circa 35%. Di contro, VIII municipalità presenta valori di sensitività solo in alcune aree. La prima in prossimità del polo ospedaliero del Cotugno costituendo uno dei primi tessuti urbani fondati all'interno del quartiere e nell'area ad est e ovest del Parco Ciro Esposito soggette ad un processo di riqualificazione urbana degli anni Ottanta.

Per l'VIII municipalità i risultati confermano il profilo sociale dell'area che si manifesta con problematiche legate alla povertà, alla bassa scolarizzazione, alla genitorialità precoce e impiantata su abitazioni per una classe operaia.

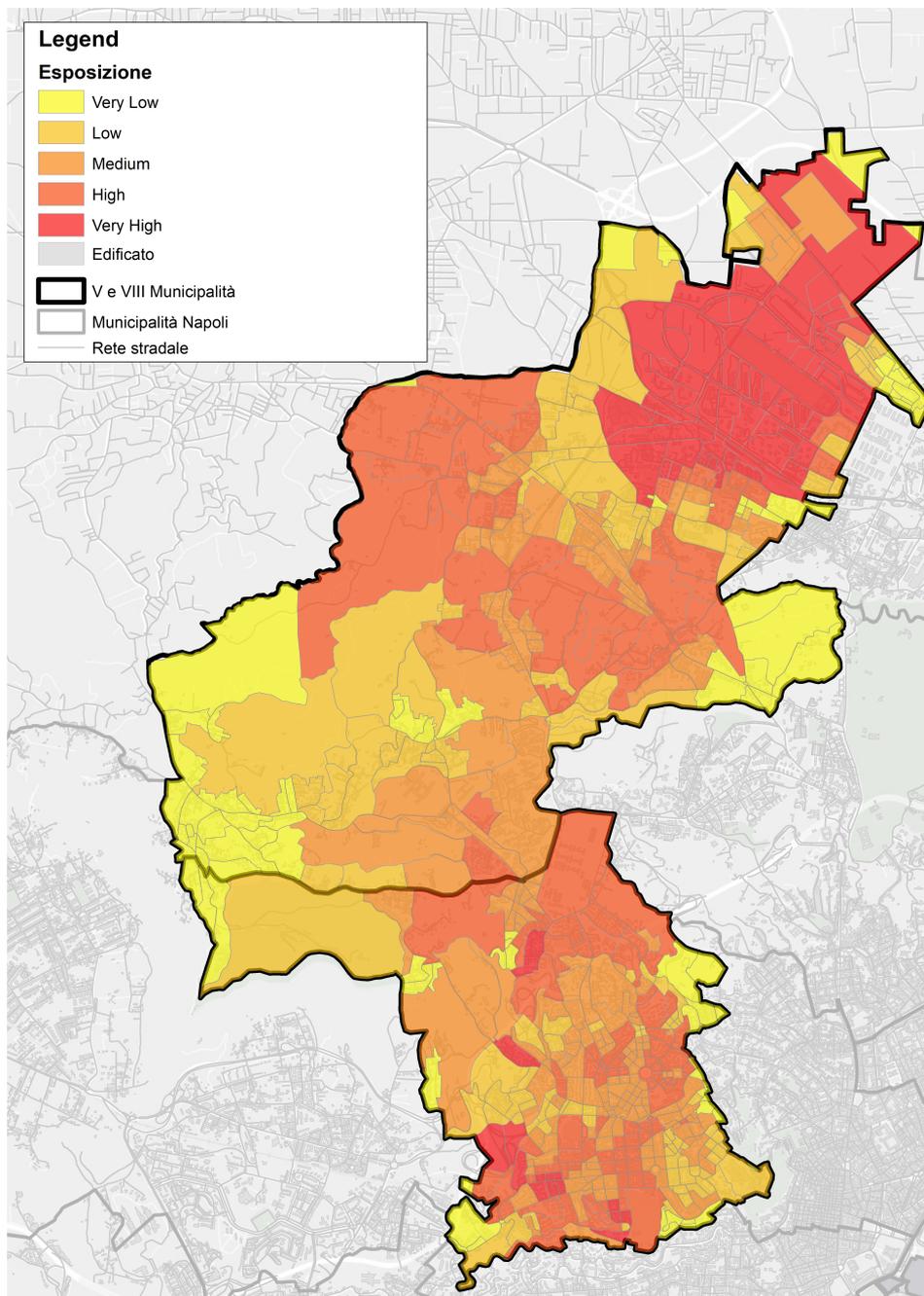


Figura 41 Classificazione della prima componente della vulnerabilità: esposizione

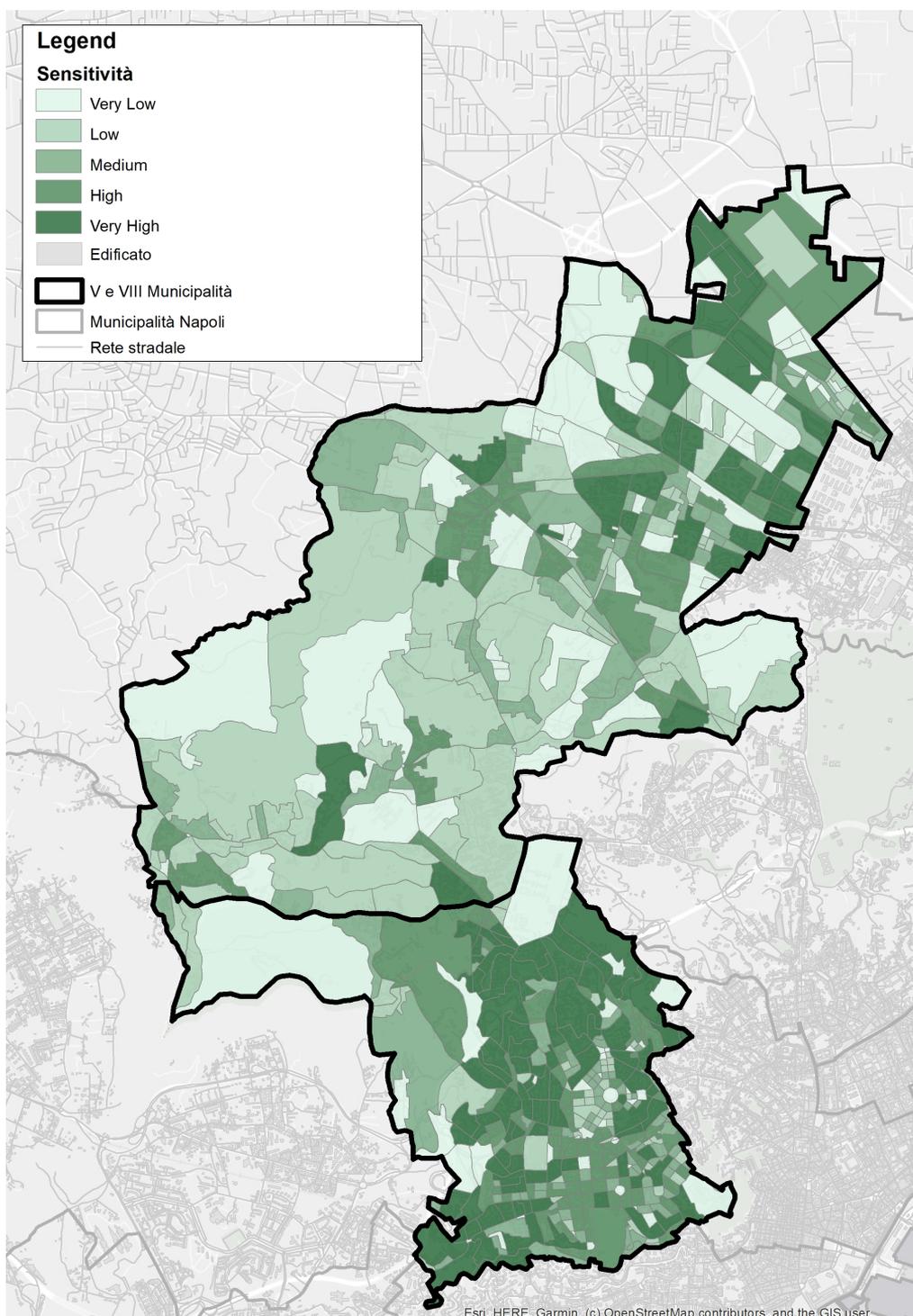


Figura 42 Classificazione della seconda componente della vulnerabilità: sensibilità

La Figura 43 mostra i risultati di ricerca ottenuti relativi all' area oggetto di studio. In particolare, nella capacità di adattamento sono state considerate tutte le variabili relative al costruito.

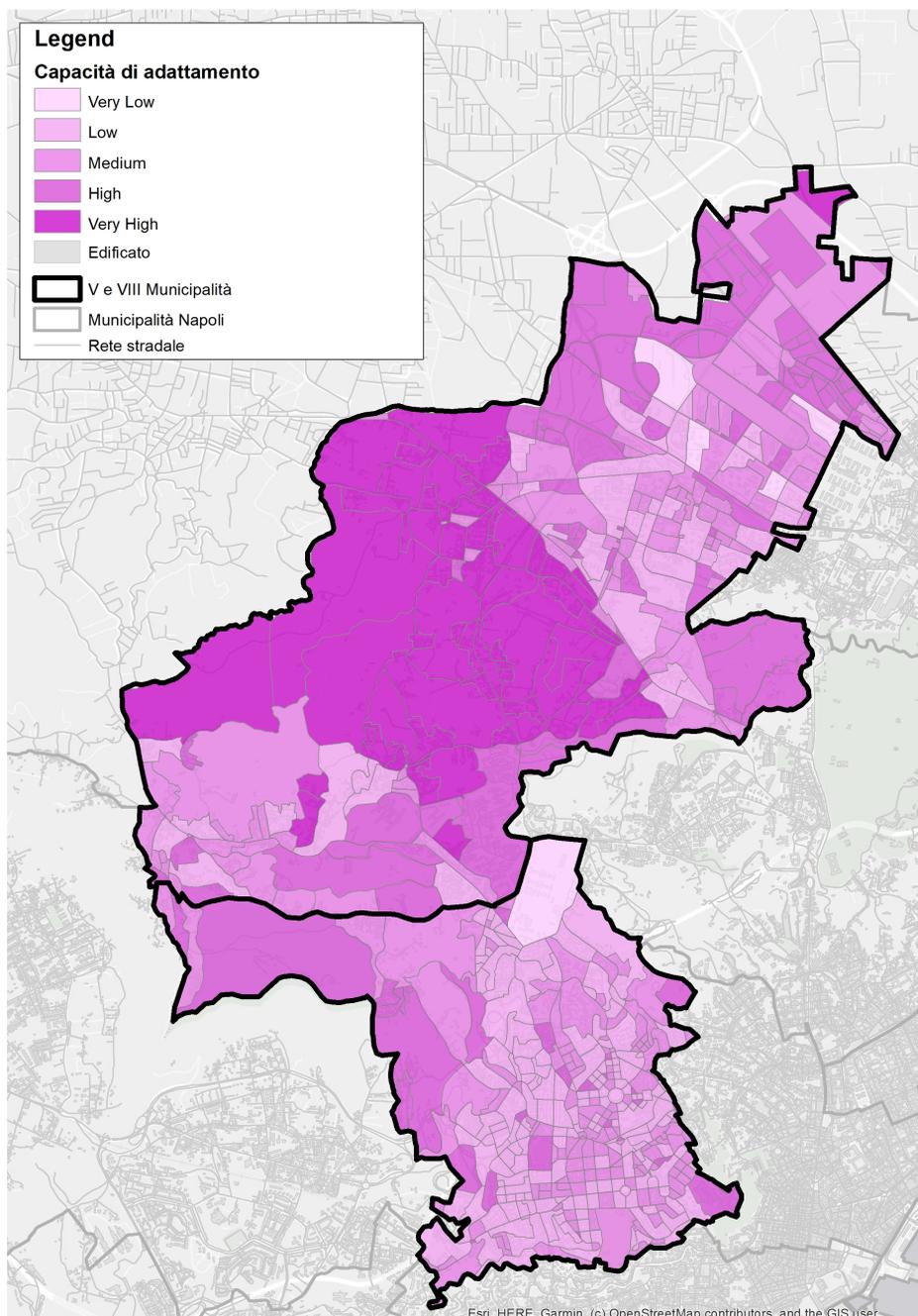


Figura 43 classificazione della terza componente della vulnerabilità: capacità di adattamento

La capacità di adattamento in entrambi i quartieri risulta bassa in quelle porzioni di territorio dove l'elevata densità del costruito, di attività e funzioni non consentono di dare una risposta efficace alla riduzione delle isole di calore urbano come si può notare nelle aree vicino al Parco Ciro Scampia e nelle aree di Piazza Vanvitelli e Piazza Medaglie d'oro. Invece, l'elevata capacità di adattamento si evince per VIII municipalità in quelle aree dove il tessuto urbano risulta frammentato e senza una determinata logica pianificatoria, ma da un'elevata permeabilità del suolo. Lo stesso avviene per la V municipalità nell'area adiacente al parco dei Camaldoli.

La messa a sistema di queste tre mappe, adottando un approccio olistico-sistemico, ha consentito di definire la vulnerabilità urbana alle UHI dell'intera area oggetto di studio (Figura 44). La mappa della vulnerabilità urbana è utile a identificare misure specifiche a differenti scale urbane per valutare non solo la sua configurazione spaziale, ma anche le sue implicazioni socioeconomiche. La Figura 44 mostra come le aree da una elevata compresenza di densità del costruito, tipologia del costruito ed una elevato mix di funzioni risultano essere maggiormente vulnerabili al fenomeno delle isole di calore urbano presentandosi di colore giallo e arancio nelle aree prossime a piazza Vanvitelli e Medaglie d'Oro. La vulnerabilità al calore è maggiore nel Rione alto (colore arancione rosso) dovuto alla presenza di edifici molto alti, la distanza che intercorre tra le facciate degli edifici e gli spazi aperti diventano dei canyon. La predominanza delle altezze degli edifici sugli spazi aperti (strade e spazi collettivi) consente una riduzione dello Sky View Factor (ovvero il rapporto tra spazio costruito e spazio aperto) favorendo una maggiore ombreggiatura della superficie, ma al contempo favorisce assorbimento di radiazione solare rilasciata dal piano stradale e dalle facciate degli edifici, determinando in ogni caso un effetto "isola di calore". La situazione risulta analoga nella VIII municipalità nei pressi della stazione di Piscinola- Scampia e Chiaiano dove l'elevata densità del costruito dei tessuti urbani comporta maggiore quantità di superficie esposta al calore; quindi, massimizzazione dello scambio radiativo tra le superfici urbane e al contempo una minore possibilità di poter inserire aree verdi rendendole indirettamente aree vulnerabili alle isole di calore urbano. Infine, nelle aree prossime al Parco Ciro Scampia la vulnerabilità alle UHI dipende fortemente dalla forma dell'edificato attraverso il rapporto H/W, aspect ratio, in cui H è l'altezza degli edifici e W è la distanza tra i fronti. Infine, le

aree in verde chiaro e scuro costruiscono le aree meno vulnerabili alle isole di calore urbano data la bassa impermeabilizzazione del suolo. Tali mappe, inoltre, costruiscono uno strumento di supporto ai decisori locali per comprendere dove e come intervenire sia sulle singole componenti della vulnerabilità che nel suo insieme.

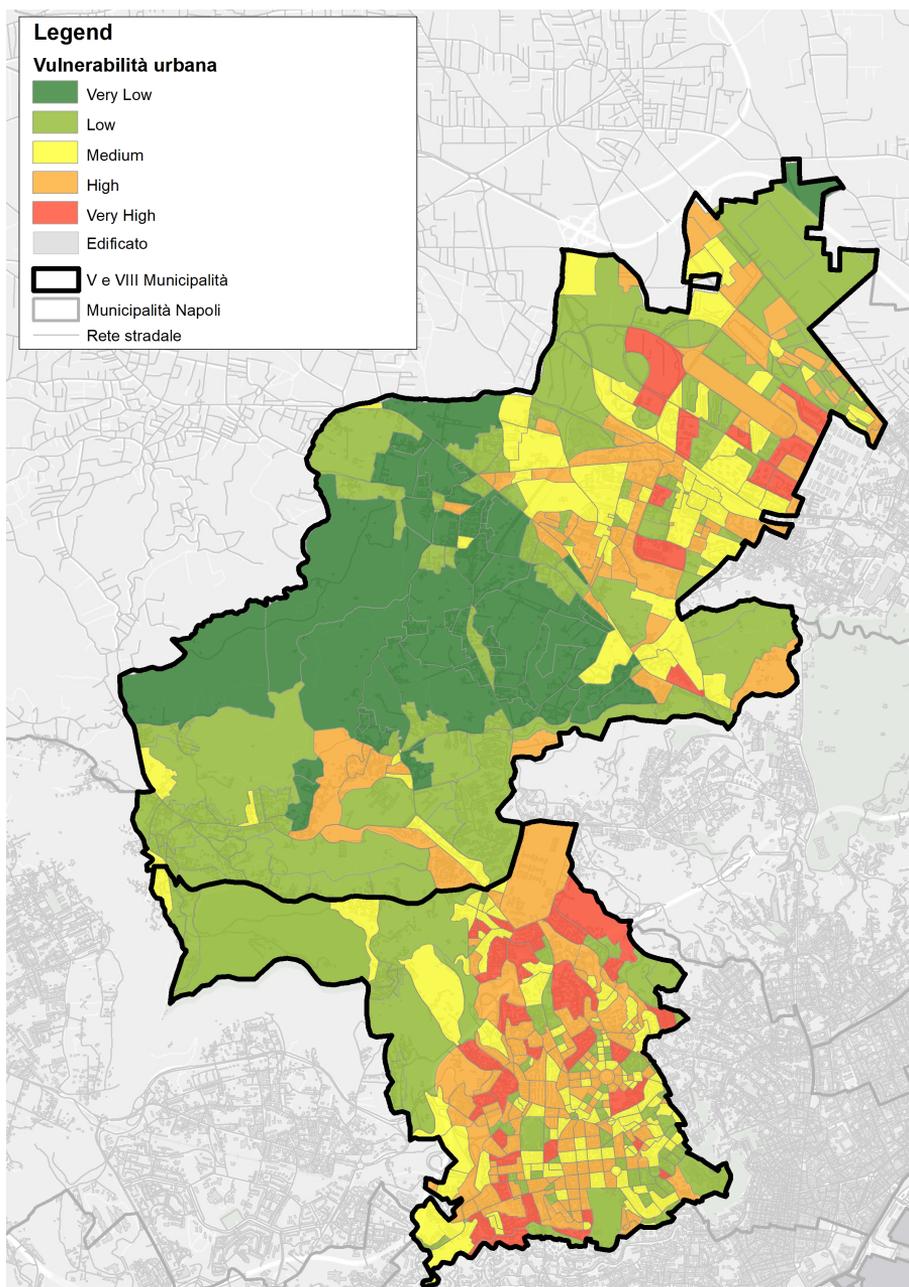


Figura 44 La vulnerabilità urbana della V e VIII Municipalità di Napoli

4.4 Conclusioni

Il cambiamento climatico rappresenta una delle principali minacce a cui l'Europa e il mondo intero è chiamato a dare delle risposte (Melillo et al., 2014; Change, 2007). Le città sono i principali contribuenti di consumo di energia e gas serra che costituiscono la causa principale dei maggiori rischi legati al clima che minacciano le popolazioni. Secondo l'International Panel for Climate Change (IPCC), la variabilità climatica costituirà un crescente rischio climatico per le città richiedendo una ridefinizione dell'organizzazione urbana e territoriale, così come un aggiornamento delle competenze degli urbanisti e tecnici del territorio. Il tema di ricerca affrontato all'interno di questo volume sembra essere in linea con le attuali politiche emanate dall'Unione Europea ed in particolare con le priorità del Green Deal (Gaglione, 2021). Basti pensare che la Commissione Europea nelle sue ultime call di Horizon 2020 ha finanziato progetti che hanno come obiettivo principale di puntare verso città climaticamente neutre e socialmente innovative che mirano a definire il ruolo di soluzioni concrete e risultati tangibili in tempi relativamente brevi sui fenomeni del cambiamento climatico. In tale ottica, questo lavoro di ricerca ha perseguito un duplice obiettivo cognitivo e metodologico. La fase cognitiva di questo lavoro mira, nella prima parte a delineare lo stato dell'arte sul tema del cambiamento climatico, in particolare per il fenomeno delle isole di calore attraverso una revisione dei principali studi scientifici su questo argomento (Jamei et al., 2016; Kaloustian, & Diab, 2015; Kim & Brown, 2021). Tali studi evidenziano i differenti approcci sul tema sottolineando un quadro scientifico frammentato. Da un lato alcuni studi hanno affrontato il tema delle isole di calore urbano volto a voler esaminare metodi e tecniche di telerilevamento delle temperature (Mohamed et al., 2017; Tomlinson et al., 2011). Altri studiosi, invece, si sono occupati di comprendere quali siano le caratteristiche urbane ad una scala micro e macro che favoriscono il fenomeno delle isole di calore urbano proponendo soluzioni che possono essere utili in un'ottica di adattamento e mitigazione (Lin et al., 2017; Gago et al., 2013; Wong et al., 2021). Sicuramente negli ultimi dieci anni l'attenzione è stata rivolta sulla mitigazione orientando la città ad un modello a basse emissioni di carbonio. Solo nell'ultimo periodo l'attenzione si è focalizzata sulle strategie di adattamento sentendo l'esigenza di volere delle risposte sulle città in tempi più brevi soprattutto in una ripresa del paese post

Covid-19 (Gargiulo et al., 2020; Zecca et al., 2020; Tira,2020). Infine, altri studi hanno condotto le proprie indagini con l'obiettivo di voler misurare la vulnerabilità dei sistemi urbani attraverso la messa a punto di indici utili a mappare i diversi contesti territoriali oggetto di studio (Bao & Yu, 2015; Inostroza et al., 2016; Francini et al.,2020). Dall'altro lato, il lavoro pone enfasi sulle strategie di adattamento finora introdotte alla scala nazionale. Nel dettaglio, il volume descrive il Piano di Adattamento al Cambiamento Climatico dell'Italia, purtroppo, ancora in corso di approvazione. Conseguentemente ad una mancanza di coordinamento tra uno strumento nazionale e gli strumenti e le azioni da implementare in ambito locale, dovuto anche alle limitate risorse amministrative e tecniche dei Comuni. Le azioni di adattamento finora introdotte alla scala locale possono costituire un suggerimento i piani di adattamento di New York, Londra, Parigi, e Bologna selezionati all'interno di questo volume. Per ciascuna misura di adattamento sono individuati strategie, obiettivi e azioni con la finalità di sviluppare un quadro operativo che può essere utile nella scelta delle misure di adattamento urbano da attuare in un'area urbana al fine ridurre gli impatti dovuti alle isole di calore urbano. Tuttavia, il tema dell'adattamento ai cambiamenti climatici è sicuramente frutto di un recente dibattito se posto in relazione agli strumenti di piano, ai decisori locali e tecnici del territorio. In gran parte delle città non sono state ancora prodotte proposte tali da migliorare l'assetto e l'organizzazione del sistema urbano al manifestarsi dei fenomeni dei cambiamenti climatici. Nella seconda parte, il lavoro di ricerca mira ad integrare e a superare il divario di ricerca sul tema proponendo una metodologia volta da un lato al rilevamento delle temperature attraverso l'utilizzo di metodi di analisi spaziale in ambiente GIS e dall'altro alle caratteristiche urbane attraverso l'utilizzo di un indice di vulnerabilità, in accordo con le teorie dall'IPCC. L'approccio metodologico impiegato ha lo scopo di misurare il fenomeno delle isole di calore urbano (Molavi, 2018). L'innovazione del lavoro di ricerca è nella volontà, in ambiente GIS, di voler coniugare l'utilizzo di tecniche di interpolazione spaziale delle temperature con le caratteristiche di un contesto territoriale (de Falco, 2018). Il complemento viene espresso mediante un indicatore sintetico in grado di definire la misura della vulnerabilità dei sistemi urbani (Mandal & Mondal, 2019). La loro integrazione reale e funzionale rappresenta una frontiera di ricerca non ancora fortemente consolidata nel dibattito scientifico per la

definizione e l'analisi della complessità dei fenomeni urbani. Inoltre, i risultati operativi di questo lavoro, ottenuti, utilizzando strumenti di ricerca innovativi, mostrano le porzioni di territorio comunale dove è necessario intervenire fornendo un utile strumento di supporto alle decisioni per le pubbliche amministrazioni (Murgante, 2008). Le soluzioni efficaci che si possono intraprendere per ridurre la vulnerabilità dei sistemi urbani possono costituire uno spunto le azioni introdotte dai casi studio discussi all'interno del secondo capitolo di questo volume come i recenti interventi previsti all'interno dei piani di ripresa e resilienza che possono creare benefici indiretti nella riduzione del fenomeno delle isole di calore urbano (Gaglione & Ayiine-Etigo, 2021; Wang et al., 2021). Sebbene il lavoro proposto abbia introdotto diverse innovazioni di ricerca, è importante sottolineare che alcuni miglioramenti possono essere apportati. Innanzitutto, sulla scelta delle variabili considerate a causa della disponibilità dei dati e, soprattutto, della mancanza di dataset specifici a livello locale. Lo studio qui intrapreso si è concentrato su indicatori costruiti a partire da dati che risultano essere open per gli urbanisti. L'ampliamento degli indicatori per misurare il fenomeno delle isole di calore urbano richiede un'attività di raccolta dati più intense, che potrebbe dare una maggiore robustezza alla metodologia e applicazione di questo volume. L'utilizzo di tecniche di analisi statistiche per definire in modo più accurato l'incidenza di ciascuno degli indicatori considerati. Infine, l'indice di vulnerabilità del sistema urbano calcolato per questo studio può tener conto di un set di dati più ampio. Questi sono vincoli che meritano ulteriore attenzione nella ricerca futura di questo lavoro.

Riferimenti bibliografici

- Bao, J., Li, X., & Yu, C. (2015). The construction and validation of the heat vulnerability index, a review. *International journal of environmental research and public health*, *12*(7), 7220-7234. <https://doi.org/10.3390/ijerph120707220>
- Change, C. (2007). Climate change impacts, adaptation and vulnerability. *Science of the Total Environment*, *326*(1-3), 95-112.
- de Falco S. (2018). Geographic determinism Vs urban resilience: italian scenario analysis. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, *11*(1), 65-88. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/5370>
- Francini, M., Chieffallo, L., Palermo, A., & Viapiana, M. F. (2020). A Method for the Definition of Local Vulnerability Domains to Climate Change and Relate Mapping. Two Case Studies in Southern Italy. *Sustainability*, *12*(22), 9454. <https://doi.org/10.3390/su12229454>
- Gaglione, F. (2021). Strategies and guidelines for urban sustainability: the impacts of the Covid-19 on energy systems. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, *14*(1), 99-104. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/7875>
- Gaglione, F., & Ayiine-Etigo, D. A. (2021). Resilience as an urban strategy: The role of green interventions in recovery plans. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, *14*(2), 279-284. <https://doi.org/10.6093/1970-9870/8054>
- Gago, E. J., Roldan, J., Pacheco-Torres, R., & Ordóñez, J. (2013). The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *25*, 749-758. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.057>
- Gargiulo, C., Gaglione, F., Guida, C., Papa, R., Zucaro, F., & Carpentieri, G. (2020). The role of the urban settlement system in the spread of Covid-19 pandemic. The Italian case. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 189-212. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/6864>
- Inostroza, L., Palme, M., & de la Barrera, F. (2016). A heat vulnerability index: spatial patterns of exposure, sensitivity and adaptive capacity for Santiago de Chile. *PLOS one*, *11*(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162464>
- Jamei, E., Rajagopalan, P., Seyedmahmoudian, M., & Jamei, Y. (2016). Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *54*, 1002-1017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.104>
- Kaloustian, N., & Diab, Y. (2015). Effects of urbanization on the urban heat island in Beirut. *Urban Climate*, *14*, 154-165. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.06.004>
- Kim, S. W., & Brown, R. D. (2021). Urban heat island (UHI) variations within a city boundary: A systematic literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *148*, 111256. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111256>
- Lin, P., Gou, Z., Lau, S. S. Y., & Qin, H. (2017). The impact of urban design descriptors on outdoor thermal environment: A literature review. *Energies*, *10*(12), 2151. <https://doi.org/10.3390/en10122151>
- Mandal, S., & Mondal, S. (2019). Logistic Regression (LR) Model and Landslide Susceptibility: A RS and GIS-Based Approach. In *Statistical Approaches for Landslide Susceptibility Assessment and Prediction* (pp. 107-121). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93897-4_4

- Melillo, J. M., Richmond, T. T., & Yohe, G. (2014). Climate change impacts in the United States. *Third national climate assessment*, 52. https://www.globalchange.gov/sites/globalchange/files/Ch_0a_FrontMatter_ThirdNCA_GovtReviewDraft_Nov_22_2013_clean.pdf
- Mohamed, A. A., Odindi, J., & Mutanga, O. (2017). Land surface temperature and emissivity estimation for Urban Heat Island assessment using medium-and low-resolution space-borne sensors: A review. *Geocarto international*, 32(4), 455-470. <https://doi.org/10.1080/10106049.2016.1155657>
- Molavi M. (2018). Measuring Urban Resilience to Natural Hazards. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 11(2), 195-212. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/5485>
- Murgante, B. (Ed.). (2008). L'informazione geografica a supporto della pianificazione territoriale. Franco Angeli. ISBN: 9788856803631
- Tira M. (2020). About the Sustainability of Urban Settlements. *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 361-371. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/6984>
- Tomlinson, C. J., Chapman, L., Thornes, J. E., & Baker, C. (2011). Remote sensing land surface temperature for meteorology and climatology: A review. *Meteorological Applications*, 18(3), 296-306. <https://doi.org/10.1002/met.287>
- Wang, C., Wang, Z. H., Kaloush, K. E., & Shacat, J. (2021). Perceptions of urban heat island mitigation and implementation strategies: Survey and gap analysis. *Sustainable Cities and Society*, 66, 102687. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102687>
- Wong, N. H., Tan, C. L., Kolokotsa, D. D., & Takebayashi, H. (2021). Greenery as a mitigation and adaptation strategy to urban heat. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(3), 166-181. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00129-5>
- Zecca, C., Gaglione F., Laing, R., Gargiulo C., (2020). Pedestrian routes and accessibility to urban services. rhythmic analysis on people's behaviour before and during the Covid-19. *Tema. Journal of Land Use, Mobility and Environment* 13 (2), 241-256. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/705>

Prefazione	11
1. La città nel cambiamento climatico	17
1.1 Città e cambiamento climatico	18
1.2 I fenomeni del cambiamento climatico: le isole di calore urbano	24
1.3 Ondate di calore nelle aree urbane: Un framework scientifico	33
1.4 La vulnerabilità dei sistemi urbani: modelli e approcci per misurarla	37
Riferimenti bibliografici	46
2. Isole di calore e adattamento	55
2.1 Indirizzi europei per i processi di adattamento	56
2.2 Strategie nazionali di climate-adaptation	61
2.3 Adattamento in ambito urbano	74
2.3.1 The Mayor's climate change adaptation strategy in London	74
2.3.3 Paris's adaptation strategy: Towards a more resilient city	79
2.3.3 One New York 2050: Building a strong and fair city	81
2.3.4 Strategia locale di adattamento ai cambiamenti climatici della Città di Bologna	84
Riferimenti bibliografici	90
3. Variabili, tecniche e modelli	93
3.1 Introduzione	94
3.2 Variabili interpretative e tecniche di interpolazione delle temperature	95
3.3 Modello di stima della vulnerabilità delle aree urbane alle isole di calore	102
Riferimenti bibliografici	105
4. Misurare la vulnerabilità delle aree urbane	109
4.1 Il caso studio della città di Napoli	110
4.2 Risultati e discussione del rilevamento delle temperature	112
4.3 Risultati e discussione delle componenti della vulnerabilità	118
4.4 Conclusioni	125
Riferimenti bibliografici	128

<i>Figura 1</i> cambiamento della temperatura superficiale media annuale a livello globale (Fonte IPCC report).	24
<i>Figura 2</i> Cambiamento della temperatura superficiale media annuale a livello globale precipitazioni (Fonte IPCC report).	25
<i>Figura 3</i> Rappresentazione dell'Urban Boundary Layer (Oke 1976).	28
<i>Figura 4</i> Temperature e intensità dell'isola di calore dello strato della copertura urbana (CLUHI) in condizioni "ideali" durante il giorno e la notte (Voogt 2000a).	29
<i>Figura 5</i> Temperature epidermiche diurne e notturne in aree con diverso utilizzo del suolo (Voogt 2000a).	29
<i>Figura 6</i> Modalità di rilevamento delle varie tipologie di UHI (Voogt, 2006).	30
<i>Figura 7</i> Modelli di valutazione dei rischi climatici dell'IPCC.	39
<i>Figura 8</i> Caratteristiche climatiche della macroregione climatica 2.	62
<i>Figura 9</i> Anomalie per ciascuna delle sei macroregioni. (2021-2050 vs 1981-2010, scenario RCP4.5).	63
<i>Figura 10</i> Anomalie per ciascuna delle sei macroregioni. (2021-2050 vs 1981-2010, scenario RCP8.5).	64
<i>Figura 11</i> Anomalie per ciascuna delle sei macroregioni. (2021-2050 vs 1981-2010, scenario RCP8.5).	65
<i>Figura 12</i> Definizione del rischio dai cambiamenti climatici in accordo con le teorie del IPCC.	65
<i>Figura 13</i> Indicatori climatici di pericolosità.	66
<i>Figura 14</i> Indicatori climatici di esposizione e sensitività.	67
<i>Figura 15</i> Potenziali impatti associati ai cambiamenti climatici.	67
<i>Figura 16</i> Indice di rischio bi-dimensionale tra impatti potenziali e capacità di adattamento.	68
<i>Figura 17</i> Differenze di temperature registrate dal 1963 al 2010 nella città di Londra	75

<i>Figura 18 Tasso di riscaldamento di Londra nei mesi caldi</i>	76
<i>Figura 19 Le UHI di Londra</i>	77
<i>Figura 20 Azioni di adattamento delle aree urbane alle isole di calore urbano della città di Londra</i>	78
<i>Figura 21 Azioni di adattamento delle aree urbane alle isole di calore urbano della città di Parigi</i>	80
<i>Figura 22 La vulnerabilità delle aree urbane della New York City al calore</i>	83
<i>Figura 23 Azioni di adattamento delle aree urbane alle isole di calore urbano della città di New York</i>	84
<i>Figura 24 Media delle anomalie delle temperature (1991-2008) nella città di Bologna</i>	85
<i>Figura 25 Dalle vulnerabilità alle strategie alla definizione delle specifiche azioni nell'area Bolognese</i>	86
<i>Figura 26 Azioni di adattamento delle aree urbane alle isole di calore urbano della città di Bologna</i>	87
<i>Figura 27 Le città europee considerate per l'attuazione di interventi green sul territorio bolognese</i>	88
<i>Figura 28 Fasi della metodologia per la misura della vulnerabilità delle aree urbane</i>	95
<i>Figura 29 Esempio di registrazione delle temperature Weathermap Netatmo</i>	100
<i>Figura 30 Schema di interpolazione inversa ponderata delle temperature (Mitas, L., Mitasova, H. 1999).</i>	100
<i>Figura 31 Formula di interpolazione dei punti attraverso il tool IDW</i>	101
<i>Figura 32 Modello di stima della vulnerabilità delle aree urbane alle UHI</i>	102
<i>Figura 33 Indicatori che definiscono la vulnerabilità del sistema urbano</i>	103
<i>Figura 34 Il caso studio della V e VIII Municipalità di Napoli</i>	110
<i>Figura 35 Temperature registrate sulla V Municipalità del 4 luglio ore 9:00</i>	112
<i>Figura 36 Temperatura media V e VIII Municipalità di Napoli</i>	113

<i>Figura 37 Diminuzione del peso al variare della distanza</i>	114
<i>Figura 38 Scenario delle temperature medie ore 9:00 della V e VIII Municipalità di Napoli</i>	115
<i>Figura 39 Scenario delle temperature medie ore 13 della V e VIII Municipalità di Napoli</i>	116
<i>Figura 40 Scenario delle temperature ore 18 della V e VIII Municipalità di Napoli</i>	117
<i>Figura 41 Classificazione della prima componente della vulnerabilità: esposizione</i>	120
<i>Figura 42 classificazione della seconda componente della vulnerabilità: sensitività</i>	121
<i>Figura 43 classificazione della terza componente della vulnerabilità: capacità di adattamento</i>	122
<i>Figura 44 La vulnerabilità urbana della V e VIII Municipalità di Napoli</i>	124

<i>Tabella 1</i> <i>Revisione dei principali studi della letteratura scientifica sulle UHI</i>	34
<i>Tabella 2.</i> <i>I rischi settoriali della macroregione 2 e i relativi impatti potenziali</i>	69
<i>Tabella 3</i> <i>Le variabili desunte dagli studi della letteratura scientifica relative alle UHI</i>	98
<i>Tabella 4.</i> <i>Parametrizzazione del set di variabili per misurare le isole di calore urbano</i>	98



Il cambiamento climatico rappresenta una delle principali minacce a cui il nostro pianeta è chiamato a dare risposte, sia in termini di mitigazione dei fenomeni che di adattamento agli impatti sull'ambiente costruito. L'International Panel for Climate Change (IPCC), nei suoi ultimi report evidenzia come i fenomeni legati alla variabilità climatica si andranno intensificando nei prossimi decenni e gli eventi estremi connessi al clima costituiranno un rischio crescente, in particolare per le nostre città. In tale direzione, il lavoro di ricerca affrontato all'interno di questo volume mira a dare un contributo alla ricerca scientifica sul tema della vulnerabilità delle aree urbane alle isole di calore. Nel dettaglio, il volume si articola in quattro capitoli. Nei primi due si illustra lo stato dell'arte, mettendo a punto un esauriente quadro conoscitivo di questa tematica. Sono evidenziati i differenti approcci e i diversi modelli anche attraverso la lettura dei piani di adattamento europei ed italiani. Si prendono in esame le strategie, le azioni e gli interventi proposti per migliorare l'assetto e l'organizzazione del territorio. Il terzo capitolo propone una metodologia volta al rilevamento delle temperature con l'utilizzo di metodi di analisi spaziale in ambiente GIS in relazione alle caratteristiche urbane, utile a misurare la vulnerabilità dei sistemi urbani alle isole di calore, in accordo con le teorie e i modelli emanati dall'IPCC. Infine, nel quarto capitolo, si riporta una prima sperimentazione sulla città di Napoli dei risultati del lavoro di ricerca, definendo le porzioni di territorio della V e VIII municipalità dove è necessario intervenire con priorità, come primo passo per la messa a punto di uno strumento di supporto alle decisioni per le pubbliche amministrazioni.

Federica Gaglione, laureata in Ingegneria dei Sistemi Edilizi, è Ph.D in Ingegneria dei Sistemi Civili presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università degli Studi di Napoli Federico II. I temi di ricerca affrontati in questi anni fanno riferimento all'accessibilità ai servizi di prossimità per i gruppi vulnerabili della popolazione e agli impatti del cambiamento climatico nella gestione delle trasformazioni urbane e territoriali. Da agosto a dicembre 2019 ha lavorato come Visiting Researcher presso l'Università di Aberdeen (UK) svolgendo una ricerca sull'accessibilità pedonale per le persone anziane.

