



**Politecnico  
di Torino**

**POLITECNICO DI TORINO**

Corso di Laurea Magistrale

In Architettura per il Progetto Sostenibile

A/A 2022/2023

Sessione di Laurea Magistrale settembre 2023

**STUDIO SUL FENOMENO DELLE ISOLE DI CALORE URBANE  
NELLA CITTA' DI TORINO E RELATIVA MITIGAZIONE DEL  
FENOMENO TRAMITE SOLUZIONI SOSTENIBILI**

Relatore: Guglielmina Mutani

Candidato: Luca Iob

# INDICE

## 1 INTRODUZIONE

1.1	Obiettivi e metodologia	5
1.2	Fenomeno delle isole di calore	7
1.2.1	Canyon di Calore Urbano	10
1.3	Stato dell'arte	13
1.3.1	Testi di riferimento per le analisi	32
1.4	Software Utilizzati	33
1.4.1	Quantum GIS	33
1.4.2	Umep SOLWEIG	35
1.5	Caso Studio Città Metropolitana di Torino	39

## 2. INDICI URBANI NELLA CITTA' DI TORINO

2.1	Indicatori Urbani	42
2.1.1	BCR	43
2.1.2	BD	46
2.1.3	Considerazioni sugli indici BD e BCR	46

## 3 ANALISI TERRITORIALE PER IDENTIFICARE LE ISOLE DI CALORE

3.1	Calcolo della NDVI e LST	49
3.1.1	NDVI	54
3.1.2	LST	56
3.2	Confronto valori della LST rispetto alla temperatura dell'aria	59
3.3	Albedo	64
3.3.1	Calcolo dell'Albedo	66

## 4 CALCOLO DEGLI INDICI DI INTENSITA' DELLE UHI

4.1	Indici di intensità	75
4.1.1	Indici di intensità Q1 e Q2	75
4.1.2	Indice di intensità Q3	76
4.1.3	Surface Urban Heat Island	80

## 5 INDICATORI URBANI E IDENTIFICAZIONE DELLE ZONE CASI STUDIO

5.1	Indicatori Urbani per caso studio	
5.1.1	H/W	84
5.1.2	MOS	85
5.1.3	H/Havg	86
5.2	Identificazione dei Casi Studio	87
5.2.1	Risultati degli indicatori in conformità agli indici urbani	91
5.2.2	Classificazione dei Casi studio	93
<b>6</b>	<b>STUDIO DELLE UHI SU DIVERSI CONTESTI URBANI</b>	
6.1	Confronto NDVI con percentuale di aree verdi	98
6.2	Confronto valori Albedo	104
<b>7</b>	<b>CALCOLO INDICE UTFVI</b>	
7.1	UTFVI	112
7.1.2	Confronto LST e individuazione punti di interesse	113
7.2	Risultati confronto calcolo UTFVI	117
<b>8</b>	<b>SKY VIEW FACTOR</b>	
<b>9</b>	<b>INDICI DI COMFORT TERMICO</b>	
9.1	Cosa sono gl'indici di comfort termico	127
9.1.2	PET	130
9.1.3	UTCI	134
9.2	Temperatura media radiante	135
9.3	Risultati indici di comfort	144
9.4	Quantificazione intensità UHI	154
<b>10</b>	<b>ANALISI PER MITIGARE IL FENOMENO DELLE UHI</b>	
10.1	Tipologie e strategie per la mitigazione delle UHI	159
10.2	Approfondimento delle coperture e del suolo dei casi studio	162
10.3	Potenziamento delle aree verdi	167
10.4	Risultati delle strategie verdi sui casi studio	170
10.5	Confronto grafici PET e UTCI delle singole varianti	177
10.5.1	Confronto grafici dello stato di fatto con le variazioni	186

## **11 CONSIDERAZIONI FINALI**

11.1	Quantificazione delle aree verdi	192
11.2	Studio specifico di edifici soggetti ad interventi di mitigazione	194

## **12 CONCLUSIONE**

## **13 BIBLIOGRAFIA**

## **14 SITOGRAFIA**



# 1 INTRODUZIONE

## 1.1 Obiettivi e metodologia

Negli ultimi decenni ci siamo trovati di fronte ad una continua evoluzione del territorio e della conseguente e drastica variazione del paesaggio ove grandi porzioni naturali come foreste, boschi e praterie sono state sostituite da una diversa morfologia territoriale caratterizzato da centri abitativi ad alta densità edificatoria, che è correlato come una conseguenza del incremento significativo della popolazione; questo aspetto è direttamente proporzionale all'incremento del tessuto urbano portando all'aumento delle temperature in queste aree edificate, infatti questi due aspetti correlati fra loro si verificano in maniera sempre più evidente ed invasiva andando, dunque, ad influenzare i ritmi di vita delle aree in cui si sviluppano generando condizioni critiche e fenomeni come le Isole di calore e i canyon urbani.

Per questo la mia tesi è strutturata su uno studio inerente all'individuazione di questi due fenomeni, ovvero le isole di calore e i canyon urbani, nel tessuto urbano di città con alta densità edilizia e quindi suddetto studio è stato incentrato nel selezionare delle tipologie ove questo fenomeno è più frequente ovvero città metropolitane, nello specifico ho fatto ricadere la scelta sul capoluogo Piemontese Torino; si può riassumere come la mia tesi è stata strutturata in tre macro fasi dove troviamo una prima fase "preliminare" incentrata su uno studio a scala territoriale ove vengono calcolati quegli indici per poter identificare nelle cartografie del territorio di Torino dove questo fenomeno è più presente ed evidente, il calcolo di questi indicatori vengono calcolati tenendo conto di dati urbani, morfologici, meteorologici e satellitari.

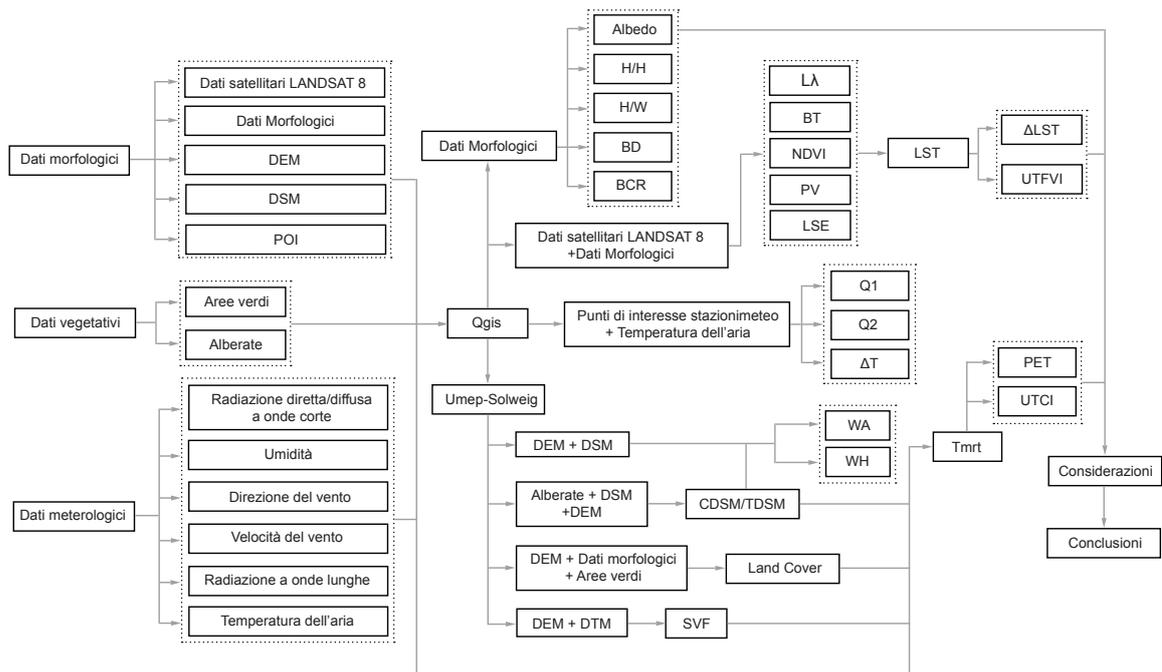
Nella fase successiva di questo studio verranno ripresi i calcoli precedenti e quindi per poterli poi sfruttare nell'andare a selezionare delle zone che possono essere utilizzate come caso studio ove poter approfondire quei parametri inerenti alle isole di calore urbane e quindi svolgere delle ulteriori analisi puntuali più dettagliate; queste zone sono state selezionate in relazione alle caratteristiche morfologia, criticità e aspetti peculiari per cui è possibile visualizzare questo fenomeno e poter integrare delle ulteriori considerazioni, tra cui quantificare, in relazione alla morfologia, qual'è l'intensità delle UHI e quindi è importanti che presentino caratteristiche come vaste aree di superfici cementate, zone con densità edilizia elevata, edifici a ridosso l'uno con l'altro generando dei canyon urbani e basse percentuali di aree verdi.

In fine la tesi propone degli ulteriori studi ove vengono proposte delle soluzioni o varianti al tessuto urbano per poter mitigare suddetto fenomeno e quindi osservare se una di queste varianti possano migliorare i livelli di temperatura, quelli del comfort esterno e la UHI delle aree scelte; la selezione delle varianti è stata fatta in relazione a tipologie di coperture che presentano livelli di emissività ed albedo più bassi rispetto al cemento come ad esempio superfici verdi, vegetali o chiare.

Entrando nello specifico di come è strutturata la tesi è stata preponderante la scelta di svolgere un confronto di questo fenomeno in relazione a due periodi differenti e dunque verificare le variazioni, sia che siano positive che negative, degli indici ed indicatori di questo fenomeno, gli anni presi in esame per questo confronto sono il 2021 e il 2022; come detto in precedenza lo studio iniziale a una scala. Più vasta è importante per poter identificare e selezionare quelle aree che poi verranno considerate come caso studio, tra gli strumenti utilizzati per svolgere questo tipo di analisi saranno fondamentali i software GIS e le immagini e i rispettivi dati associati derivati dai satelliti Landsat.

Per quanto riguarda quest'ultimo le immagini e le rispettive bande correlate sono ricavate tramite un metodo di telerilevamento ove vengono acquisite informazioni sulla superficie terrestre, mediante un'opportuna analisi dei dati raccolti attraverso sensori a distanza che misurano le varie frequenze dello spettro di radiazione elettromagnetica sia in emissione, che riflessione, che trasmissione; nello specifico questi dati sono stati ricavati dal satellite della NASA Landsat-8 nel portale Earth Explorer, Landsat-8 utilizza due tipologie di sensori ovvero OLI (Operational Land Imager) e TIR (Thermal Infrared Sensor) che permettono di estendere le osservazioni anche nell'infrarosso con una risoluzione fino a 30 metri, permettendo di andare a determinare indici come l'albedo, la NDVI e la LST.

Invece nella fase successiva inerente al calcolo di valori che porteranno a determinare la temperatura media radiante e di conseguenza gli indici di comfort termico come il PET e l'UTCI saranno fondamentali l'utilizzo di file vettoriali come il digital surface model e la digital elevation model, la Land Cover e i dati meteorologici applicabili all'interno del plugin Umep SOLWEIG presente all'interno del software Quantum GIS utile per il calcolo di questi indici di comfort termico; in fine per quanto riguarda lo step conclusivo verrà applicato uno studio tenendo conto dei dati utilizzati già in precedenza per lo studio delle diverse zone caso studio, di seguito viene riportata la struttura schematica dei calcoli svolti all'interno della mia tesi inerente le isole di calore urbane (UHI):



## 1.2 Fenomeno delle isole di calore urbano

Il fenomeno delle isole di calore urbane (UHI) sono una problematica di tipo ambientale che possono presentarsi con maggiore frequenza all'interno del clima urbano, per il quale le temperature delle località urbane subiscono delle alterazioni di diversi gradi andando dunque a determinare valori superiori a quelli delle vicine aree rurali di analoga altitudine; l'effetto delle UHI deriva principalmente da infrastrutture ad alta densità, che non solo limitano il flusso d'aria, ma emettono anche il calore immagazzinato dall'energia solare, inoltre, la riduzione della vegetazione e delle zone umide indebolisce ulteriormente la capacità di rilascio di calore delle città.

Sebbene le isole di calore possano formarsi in qualsiasi area rurale o urbana e a qualsiasi scala spaziale, le città considerate come metropolitane sono favorite, poiché le loro superfici e tessuto urbano tendono a rilasciare grandi quantità di calore, tuttavia, l'UHI ha un impatto negativo non solo sui residenti dei dintorni urbani, ma anche sugli esseri umani e sui loro ecosistemi associati situati lontano dalle città; in effetti, gli UHI sono stati indirettamente correlati al cambiamento climatico a causa del loro contributo all'effetto serra e, quindi, al riscaldamento globale,

l'urbanizzazione, dunque, ha un impatto negativo sull'ambiente principalmente attraverso la produzione di inquinamento, la modifica delle proprietà fisiche e chimiche dell'atmosfera e la copertura della superficie del suolo.

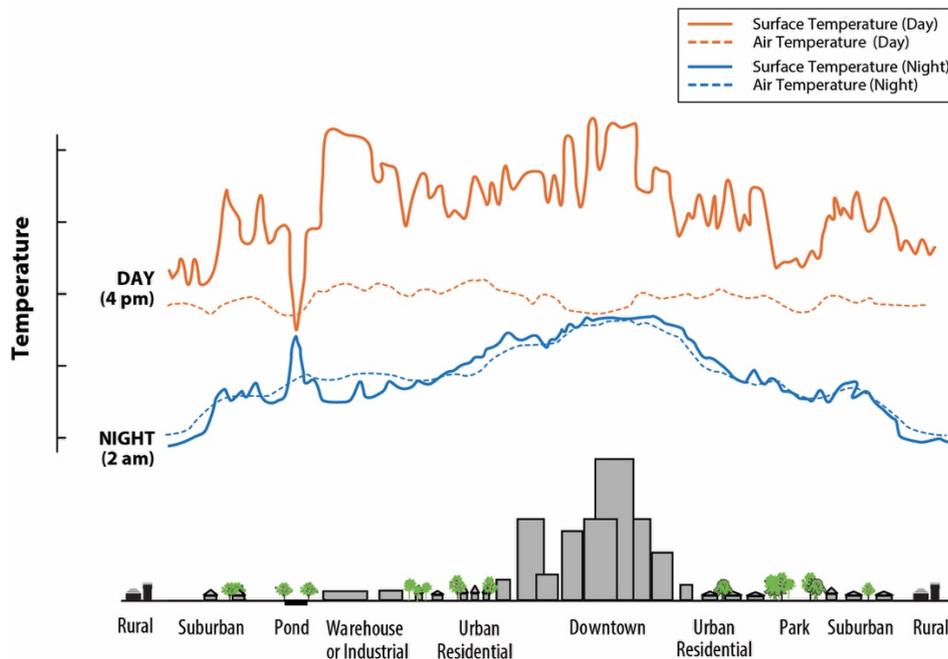


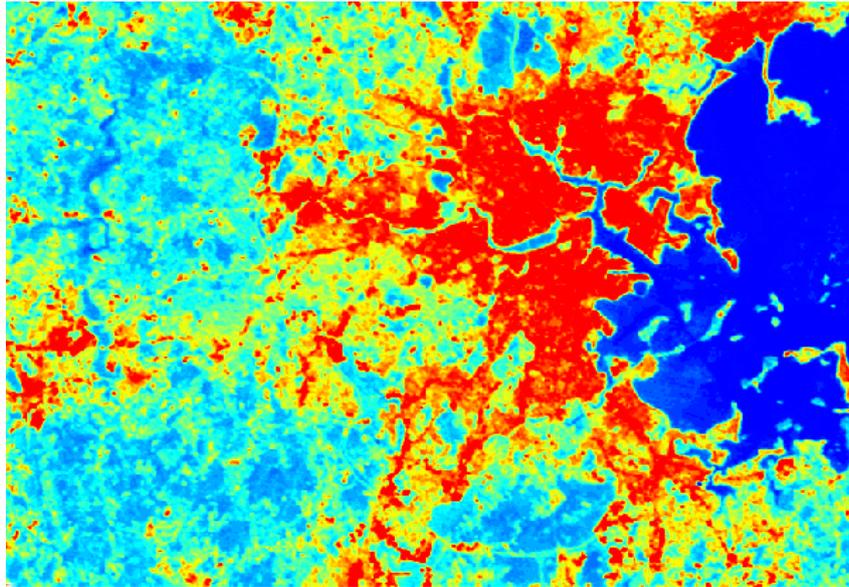
Fig.1 immagine rappresentante l'andamento delle UHI durante le ore diurne e notturne in diversi contesti

È noto che la progressiva sostituzione delle superfici naturali con quelle costruite, attraverso l'urbanizzazione, costituisce la causa principale della formazione di UHI. Le superfici naturali sono spesso composte da vegetazione e terreni che intrappolano l'umidità, pertanto, utilizzano una parte relativamente ampia della radiazione assorbita nel processo di evapotraspirazione e rilasciano vapore acqueo che contribuisce a raffreddare l'aria nelle loro vicinanze. Al contrario, le superfici costruite sono composte da un'alta percentuale di materiali da costruzione non riflettenti e resistenti all'acqua, di conseguenza, tendono ad assorbire una parte significativa della radiazione incidente, che viene rilasciata sotto forma di calore.

Al contrario la vegetazione intercetta l'irraggiamento e produce ombra che contribuisce anche a ridurre il rilascio di calore urbano per questo la diminuzione della temperatura da parte di aree vegetate come i parchi, non solo riduce questi benefici, ma inibisce anche il raffreddamento atmosferico dovuto alla circolazione orizzontale dell'aria generata dal gradiente di temperatura tra aree vegetate e aree urbanizzate (ovvero avvezione), che è noto come "park cool island effect".

Secondo il tipico profilo termico dell'UHI, il campo termico rurale è interrotto da un forte gradiente di temperatura ai confini rurali/urbani e successivamente da un gradiente orizzontale

costante ma più debole di temperatura crescente si protrae fino a raggiungere il punto di temperatura più elevato nel nucleo urbano o nel centro della città. L'uniformità di questo andamento a forma di "isola" indica generalmente alcune depressioni dovute alla presenza di punti particolarmente caldi associate a caratteristiche quali o presenza di punti particolarmente freddi associati, la differenza tra la zona urbana più calda e la temperatura rurale di base definisce l'intensità o grandezza dell'UHI.



*Fig.2 Esempio dell'andamento delle isole di calore a Boston, Massachusetts nel 2008*

È stato ampiamente dimostrato che le città con paesaggi e climi variabili possono presentare temperature di diversi gradi superiori rispetto ai loro dintorni rurali (es. i decenni successivi). Pertanto, la valutazione dell'UHI e le strategie per implementare la sua mitigazione stanno diventando sempre più importanti per le agenzie governative e i ricercatori di molti paesi colpiti. Come prevedibile, la caratteristica inclinazione al riscaldamento delle superfici urbane è esacerbata durante le giornate calde e le ondate di calore, il che rafforza l'aumento della temperatura dell'aria, in particolare negli spazi esterni poco ventilati o negli spazi interni di edifici residenziali e commerciali con scarso isolamento termico. Ciò aumenta il consumo energetico complessivo per il raffreddamento (ovvero la refrigerazione e il condizionamento dell'aria), aumentando quindi la produzione di energia da parte delle centrali elettriche, il che porta a maggiori emissioni di gas serra che intrappolano il calore come l'anidride carbonica, nonché altri inquinanti come lo zolfo anidride carbonica, monossido di carbonio e particolato. Inoltre, l'aumento della domanda di energia comporta maggiori costi per cittadini e governi, che nelle

grandi aree metropolitane possono indurre impatti economici significativi. D'altra parte, gli UHI promuovono alte temperature dell'aria che contribuiscono alla formazione di precursori dell'ozono, che combinati fotochimicamente producono ozono troposferico.

Il caldo anomalo della città crea pressioni d'aria relativamente basse che fanno convergere aria più fresca e rurale sul centro urbano, costringendo così l'aria calda a salire e che ad altitudini più elevate condensa e precipita; studi condotti in diverse città degli Stati Uniti come Atlanta, New York, Chicago e Washington, hanno dimostrato che le precipitazioni urbane e gli eventi temporaleschi sono principalmente avviati dall'UHI, altri impatti meteorologici dell'UHI sono associati alla riduzione della frequenza e dell'intensità delle nevicate, nonché alla riduzione dell'intervallo diurno e stagionale delle temperature di congelamento. Le alte temperature, infine, possono produrre disturbi fisiologici e fenologici su piante ornamentali e boschi urbani.

Sebbene in inverno l'UHI possa comportare un risparmio energetico non vuol dire che il fenomeno delle UHI non possa verificarsi, infatti il verificarsi di questo fenomeno anomalo durante il periodo estivo ripercuote i propri danni, anche se parzialmente e in maniera ridotta, anche durante il periodo invernale

### **1.2.1 Canyon stradali urbani**

In relazione al fenomeno delle isole di calore urbane troviamo anche un altro aspetto correlato a quest'ultimo ovvero i canyon urbani, che rappresentano un luogo ove la disposizione degli edifici a ridosso l'uno con l'altro disposti lungo una strada in ambo i lati crea un ambiente simile a un canyon, tali conformazioni artificiali vanno a provocare suddetto fenomeno quando gli edifici lungo queste aree o sono molto alti oppure sono dei veri e propri grattacieli, in particolare i grattacieli nei canyon urbani influenzano maggiormente le condizioni locali, tra cui temperatura, vento, luce, qualità dell'aria e ricezione radio, compresi i segnali di navigazione satellitare.

Dunque riassumendo il verificarsi di un canyon urbano ideale è una strada relativamente stretta con una fila di edifici alti su entrambi i lati della strada, oggi, tuttavia, il termine canyon urbano è usato in modo più ampio e per classificarli vengono utilizzati i dettagli geometrici forniti dai canyon stradali; il dettaglio geometrico più importante sui canyon stradali è il rapporto tra l'altezza del canyon (H) e la larghezza del canyon (W), tramite il calcolo dell'indice urbano H/W, definito come rapporto di aspetto, utilizzando i valori delle proporzioni, i canyon stradali possono essere classificati come segue:

- Canyon normale – proporzioni  $\approx 1$ .

- nessuna grande apertura nelle pareti del canyon Canyon del viale – proporzioni  $< 0,5$
- Canyon profondi – proporzioni  $\approx 2$

Ciascuna delle suddette sotto classificazioni può essere eseguita secondo alla distanza tra due principali incroci lungo la strada (definita come la lunghezza del canyon della strada a questa considerazione si possono identificare tre diverse tipologie morfologiche di lunghezza del canyon che sono:

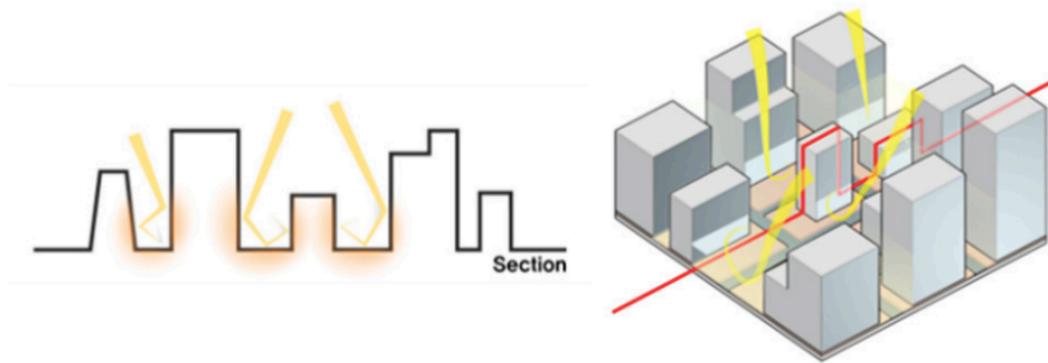
- Canyon corto –  $L/H \approx 3$
- Canyon medio –  $L/H \approx 5$
- Canyon lungo –  $L/H \approx 7$

Un altro importante parametro per determinare i canyon urbani è Lo Sky View Factor (SVF) è il rapporto tra la radiazione ricevuta da un aereo e la radiazione ricevuta dall'intero ambiente di radiazione emisferica, calcolato come percentuale di cielo visibile dal suolo. SVF è un valore adimensionale nell'intervallo da 0 a 1. Un SVF di 1 significa che il cielo è completamente visibile su terreno pianeggiante, per esempio. Se ci sono edifici o alberi nella posizione, la SVF diminuirà proporzionalmente.

Un'altra classificazione è basata sulla simmetria del canyon, ovvero quello simmetrico o uguale, ovvero un tessuto urbano ove si sviluppa questo fenomeno ove le altezze medie degli edifici è più o meno la stessa per tutti i fabbricati; al contrario il canyon asimmetrico ovvero quello più diffuso presenta delle caratteristiche ove gli edifici che compongono il canyon sono caratterizzati da grandi dislivelli.

Un altro tipo specifico è lo Step-Up Canyon - Un canyon stradale in cui l'altezza dell'edificio sul lato sopravvento è inferiore all'altezza dell'edificio sul lato sottovento. L'impatto dei canyon stradali sui venti locali e sulla qualità dell'aria può variare notevolmente a seconda della geometria del canyon.

Maggiori dettagli sono forniti nella sezione sottostante. Altri fattori importanti considerati negli studi sui canyon urbani sono il volume d'aria, l'orientamento del canyon (nord-sud, est-ovest, ecc.) e i fattori di vista del cielo; il volume d'aria in un canyon stradale è l'aria contenuta all'interno degli edifici su entrambi i lati che fungono da muri, la strada che è il limite inferiore e l'immaginario limite superiore a livello del tetto chiamato "coperchio" del canyon.



*Fig.3 Immagine rappresentante il fenomeno del Canyon Urbano nel contesto cittadino*

Le temperature all'interno del canyon possono aumentare di 2-4°C. Gli studi sui fenomeni termici considerano irraggiamento, angolo di incidenza, albedo superficiale, emissività, temperatura e SVF. Se la SVF è elevata, i canyon urbani si raffreddano rapidamente perché è disponibile più cielo per assorbire il calore trattenuto dagli edifici; un SVF basso consente ai canyon di trattenere più calore durante il giorno e più calore si rilascia durante la notte.

Un altro aspetto che viene influenzato dal fenomeno dei canyon urbani è il vento, infatti se la direzione del vento a livello del tetto è perpendicolare alla strada, verrà generato un flusso di vento rotante verticalmente con un vortice primario centrato all'interno dell'avvallamento stradale, sulla base delle proporzioni, i canyon stradali vengono definiti secondo diverse situazioni di flusso, in ordine di proporzioni crescenti, queste situazioni di flusso sono: flusso di rugosità isolato, flusso di interferenza di scia e flusso di scrematura; studi di modellazione numerica eseguiti su canyon stradali isolati hanno mostrato che il numero di vortici formati è strettamente correlato alla dimensione dei canyon, tuttavia, esiste un valore critico per la velocità del vento ambientale al di sopra del quale il numero e la configurazione dei vortici diventano indipendenti dalle proporzioni.

Infatti, i canyon simmetrici con un rapporto di aspetto = 0,5, si possono trovare vortici secondari a livello del suolo vicino alle pareti degli edifici sul lato sottovento, i canyon simmetrici con proporzioni  $\geq 1,4$  presentano un valore debole di vortice secondario a livello del suolo, e per proporzioni  $\geq 2$ , si trovano "strati" di vortici secondari sotto i vortici primari; un altro aspetto fortemente influenzato dai canyon stradali è la qualità dell'aria a causa degli inquinanti di fonti locali all'interno dei canyon e dunque gli inquinanti portati in queste zone dalle correnti di vento medie finiscono per essere trasportati fino ai vortici e successivamente rimessi in circolo all'interno della valle.

Negli ambienti urbani, le emissioni dallo scarico dei veicoli sono una delle principali fonti di molti inquinanti atmosferici ultrafine come il particolato, anidride carbonica e NOx; le diverse sostanze inquinanti generate lungo il livello della superficie stradale vengono spinti verso il punto di

sottovento del canyon dalle correnti ove la concentrazione di inquinamento a livello della superficie è molto più elevata rispetto il lato sottovento della strada e rispetto al lato sopravvento; un altro aspetto che può influire su questa problematica sono i vortici secondari sul fondo del canyon che possono agire per mantenere gli inquinanti stagnanti sulla superficie del marciapiede.

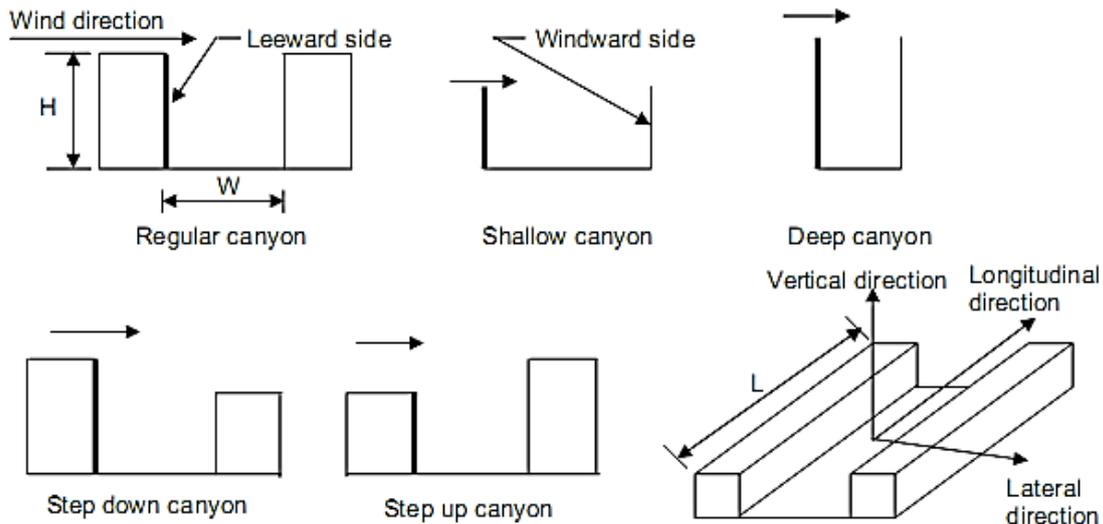


Fig.4 immagine rappresentante l'andamento del vento nei canyon stradali urbani

### 1.3 Stato dell'arte

Per svolgere questa tesi oltre a capire il fenomeno delle isole di calore è stato fondamentale analizzare diversi documenti e testi riportanti studi e analisi sul calcolo e il rilevamento di questo fenomeno e nello specifico poi, approfondire queste metodologie all'interno delle mie analisi; vengono di fatto svolti molti studi inerenti all'isola di calore sfruttando strumenti di diverso tipo come software urbanistici di tipo GIS o addirittura rilevamento tramite fotogrammi satellitari, tra i primi studi ne troviamo uno del 2018 svolto da Andrea Favretto nella città di Trieste nel Friuli Venezia Giulia<sup>[18]</sup>; dove viene presa in esame la problematica della riduzione, sia, della vegetazione cittadina che del suolo permeabile, causando un incremento delle isole di calore e provocando effetti sul microclima della città di grande rilevanza.

Questo studio è stato possibile grazie, appunto, all'utilizzo di tecniche di telerilevamento in ambiente GIS che ha svolto un ruolo fondamentale per identificare i principali fattori che incrementano la temperatura urbana nella Provincia di Trieste; per poter tracciare o comunque

rilevare la temperatura di superficie, si sono serviti di un'immagine a media risoluzione spaziale ottenuta dal satellite Landsat 8, svolgendo poi un incrocio tra le capacità riflettenti del suolo e del costruito urbano, con la vegetazione cittadina e la densità del costruito.

Da questo primo studio i principali risultati che ne escono sono di carattere geografico, evidenziando come vi sia presente una forte correlazione fra le alte temperature urbane, la densità del costruito e l'assenza di vegetazione in molte zone di Trieste; il verde urbano, di fatto, negli ultimi anni è stato ridotto o addirittura rimosso nella città, tale fenomeno è di particolare intensità nel centro urbano della città dove vi è presente un livello più significativo di densità urbana, ma si nota anche nelle zone limitrofe dell'entroterra carsico.

Il seguente studio, molto simile, svolto da S. Ghosh e M. Deshmukh<sup>[28]</sup> si occupa della geo localizzazione delle isole di calore urbane nella città di Auragabad nello stato del Maharashtra nel 2020 il software utilizzato per riportare i dati satellitari, statistici è stato QGIS e i suoi rispettivi plug-in.

Importante è stato l'utilizzo di dati satellitari contenenti bande spettrali e termiche per trovare la posizione delle Isole di Calore Urbane, è stato fondamentale l'uso di set di dati satellitari dalla stagione invernale, poiché ci sarebbe un apparente contrasto tra la temperatura derivata dal set di dati satellitari e la temperatura atmosferica effettiva; pertanto, sono stati scelti e scaricati i dati LANDSAT 8 si nota che per l'anno 2017 sono stati utilizzati i dati satellitari di gennaio 2018, in quanto il cielo era nuvoloso durante l'ultimo mese del 2017.

Inoltre durante questo approccio è stato fatto lo sviluppo delle immagini di classificazione LULC viene eseguito manualmente o può essere migliorato utilizzando approcci automatizzati o di apprendimento automatico; nonostante queste carenze nel metodo impiegato in questo studio, la tecnica è in grado di identificare le isole di calore nell'area di studio.

D'altro canto, questo lavoro ha dimostrato che i dati tele rilevati possono essere utilizzati con successo per la previsione degli hotspot delle isole di calore nell'area urbana, gli hotspot sono stati così verificati attraverso visite sul campo e vengono proposte soluzioni per la riduzione delle isole di calore.

Metodologia molto simile è stata quella utilizzata nel 2020 da parte Aditya Rahul e da Mahua Mukherjee che si sono occupati della rilevazione delle isole di calore urbano nella città di Chandigarh in India <sup>[17]</sup>; parametro fondamentale di questo studio sarà l'umidità, di fatto verranno considereranno tra i fattori principale della loro analisi oltre alla significativa densità urbana di Chandigarh di più di un milione di abitanti ed un incremento annuo del 4%.

Come lo studio svolto nella città di Trieste anche qua è stata svolta un'analisi preliminare per rilevare la temperatura di superficie grazie a delle immagini satellitari ottenute da Landsat 8, ed esser poi processate grazie all'utilizzo di SAGA GIS per determinare anche le diverse zone

climatiche della città; inoltre sono stati calcolati dei parametri specifici di trasmittanza sia atmosferica che del suolo in relazione all'indice di vegetazione NDVI, per avere una locazione delle diverse aree climatiche molto più dettagliata e quindi riuscire a determinare le zone dove si presentano isole di calore urbano più frequenti.

Anche in questo studio viene fuori come dalla locazione delle zone climatiche quelle più critiche sono relazionate a come sia sviluppato il tessuto urbano della città, proponendo delle soluzioni per mitigare il fenomeno delle isole di calore; in primis l'inserimento di aree verdi che possono facilmente raffreddare l'ambiente tramite il fenomeno dell'evatraspirazione, ma soprattutto viene considerata la necessità di ridurre drasticamente l'eccessiva densità urbana favorendo una progettazione del tessuto urbano caratterizzato da spazi aperti ed aree verdi che vanno a generare un raffreddamento dell'aria.

E' stato svolto uno studio di monitoraggio degli effetti dello sviluppo urbano sulle isole di calore urbane tramite un approccio basato sullo scanning da remoto, geolocalizzazione spaziale e mappatura della città di Kolkata in India da parte del gruppo di ricerca composto da B. Halder, J. Bandyopadhyay e P. Banik<sup>[24]</sup>; il fenomeno dell'isola di calore urbano è stato studiato utilizzando come parametro principale la LST

I ricercatori si sono interessati alle variazioni globali della temperatura della superficie terrestre (LST) e al loro impatto sulle questioni ambientali questo studio include le parti rurali e urbane del Bengala occidentale, a causa del rapido processo di urbanizzazione e dell'aumento dell'area edificabile, le aree di vegetazione sono state colpite da questo sviluppo urbano ha portato ad un cambiamento climatico e l'aumento dei gas serra globale e attualmente diventa un grave problema ambientale; l'area di Rajarhat- Newtown, Barasat, Madhyamgram e DumDum sono una parte periferica di Calcutta in continuo sviluppo e crescita urbana.

Questo studio doveva identificare l'area critica ambientale utilizzando la temperatura della superficie terrestre LST, NDVI, NDBI e UTFVI a Calcutta, la relazione tra la temperatura della superficie terrestre LST e l'indice normalizzato di differenza edificata NDBI ha dato luogo a una correlazione positiva perché l'area edificata è più calda del terreno coltivato e agricolo, ma la relazione tra LST e NDVI mostrava una correlazione negativa perché la vegetazione ha abbassato la temperatura.

Le aree urbane sono state maggiormente interessate dalle variazioni termiche e dai cambiamenti climatici, tra cui la raccolta dell'acqua piovana e lo sviluppo delle zone umide sono essenziali per quella località, in pratica Calcutta, Howrah e l'area di Rajarhat-Newtown.

D. H. Garcia e J. A. Diaz<sup>[26]</sup> si sono occupati di uno studio per la classificazione delle diverse zone climatiche della città di Granada in Andalusia grazie anche alle immagini di Sentinel 3 per il calcolo della LST; nel presente studio sono stati analizzati i dati Sentinel di giorno e di notte delle isole di

calore della città di Granada in vista della LCZ; questa classificazione, basata sulle caratteristiche del paesaggio, ha lo scopo di determinare i parametri precisi che influenzano l'UHI; sono state identificate sei LCZ e per ciascuna di esse sono state determinate e analizzate le variabili che svolgono un ruolo importante nell'aumentare o diminuire l'intensità dell'UHI, le immagini satellitari Sentinel delle fasce orarie diurne e notturne offrono il vantaggio di fornire i dati dell'LST sulla città con un intervallo di tempo di 10 ore.

La ricerca ha prima determinato l'LST e poi l'UHI durante il giorno e la notte, si denota come i risultati sono più specifici rispetto agli studi tradizionali che lavorano con una singola immagine satellitare al giorno, questa metodologia utilizzata in questa ricerca, unitamente alle caratteristiche morfologiche, geografiche e di inquinamento della città, prestano particolare interesse ai risultati ottenuti; si è rilevato che gli LST medi sono più elevati nelle aree ad alta densità di Granada rispetto alle aree a bassa densità durante il giorno di notte, le letture LST sono più alte nelle aree compatte, mentre le aree aperte hanno temperature più basse

Un altro caso che si occupa della mappatura delle isole di calore nel tessuto urbano è stato svolto da J. E. Escoto, Alvin Baloloy, Ariel Blanco e Raymund Rhommel C. Sta Ana nella città di Quezon nelle Filippine<sup>[20]</sup>; questa ricerca mira a valutare lo sviluppo delle isole di calore urbane in città dove vi è un processo di rapida urbanizzazione e sono già altamente urbanizzate per queste caratteristiche come caso studio sono state prese come esempio le Filippine, e come lo studio precedente si sofferma prendendo come parametro principale le temperature della superficie terrestre (LST) per riuscirle poi a stimare e di conseguenza prevedere i fenomeni delle isole di calore mettendo in relazione l'LST con fattori ambientali, inclusa la distribuzione della copertura del suolo, utilizzando sistemi di modellazione di regressione; grazie all'aiuto delle immagini satellitari di Landsat 8 dove è stato possibile evidenziare, in maniera specifica, come nell'area sud-occidentale di Quezon denota una percentuale superiore di LST rispetto ai quartieri nord-occidentali della città.

È stato svolto anche un altro studio nella città di Quezon da parte di I. Estacio, J. Badaan, N. J. Pecson, A. Blanco, J. E. Escoto, C. K. Alcantara<sup>[16]</sup>, si sono occupati della mappatura e classificazione delle diverse aree climatiche della città; la metodologia usata da questo studio sfrutta le immagini satellitari di Landsat 8 digitalizzandole e generando le diverse zone climatiche locali, per permettere questo primo passo i ricercatori hanno raccolto una serie di dati sulla morfologia della città come la densità, le altezze degli edifici e la tipologia di coperture.

Le aree di ricerca digitalizzate vengono quindi utilizzate come dati di input all'interno del software SAGA GIS in cui, grazie all'utilizzo dell'algoritmo Random Forest è stato possibile classificare l'immagine Landsat in diversi tipi di zone climatiche locali.

Quello che si evidenzia dallo studio è che mira principalmente a sviluppare una metodologia basata su GIS per migliorare e automatizzare la mappatura delle zone climatiche locali utilizzando le proprietà derivate dalle loro diverse tipologie, in particolare, GIS deve essere lo strumento che generi la classificazione di queste aree sulla base di livelli di proprietà di input. Fuzzy Logic è stato utilizzato per ottenere le percentuali di appartenenza di ogni pixel del caso studio; invece, Cellular Automata è stato utilizzato per combinare e aggregare i livelli fuzzy, è stata anche valutata la temperatura della superficie terrestre (LST) diurna e notturna per ogni tipo di zona climatica locale.

Sono già state sviluppate diverse metodologie per mappare queste zone e i metodi convenzionali utilizzavano un approccio basato sul telerilevamento in cui le immagini satellitari sono classificate in base a diversi algoritmi, d'altro canto il problema che si va a generare con questa metodologia è che la classificazione delle zone climatiche prodotta ha pixel non proprio dettagliati e connessi fra loro e che devono essere filtrati per uniformare le zone; per sviare a questo problema questo hanno sviluppato una metodologia basata su GIS per mappare le zone su sette proprietà derivate utilizzando la logica fuzzy, un algoritmo di classificazione e aggregazione basato su automi cellulari, i risultati hanno mostrato che i livelli mostravano le percentuali di appartenenza di un pixel a ciascun tipo di zona climatica locale.

Anche i ricercatori Ran Wang, Chao Ren, Yong Xu, Kevin Ka-Lun Lau, Yuan Shi<sup>[21]</sup> hanno svolto una mappatura delle zone climatiche locali grazie all'utilizzo di software GIS, come il caso precedentemente analizzato si vuole realizzare un telerilevamento su GIS grazie alle immagini satellitari gratuite derivate da programmi come Landsat e WUDAPT (World Urban Database e Access Portal Tools) generando una facile schematizzazione delle diverse classi delle zone climatiche urbane; l'aspetto che forse contraddistingue questa ricerca è stata la volontà di andare a prendere le misure in situ delle varie aree riportando quindi delle informazioni più dettagliati per le realizzazioni 3D dei vari edifici.

L'aspetto che differenzia questa analisi, rispetto a quella svolta a Quezon, è che c'è stato un ragionamento sulla distinzione delle zone climatiche in due tipologie in base alla morfologia delle aree urbane: città vecchia e città nuova; tale distinzione è stata fatta non tanto per la tipologia dei dati che emergono ma per la qualità con i software GIS e WUDAPT forniscono le informazioni, per poi andare a calcolare due parametri importanti ovvero l'SUHI e la CUHI ovvero la differenza di temperatura ed LST tra zone urbane e suburbane.

Molto particolare, invece, è stato lo studio svolto da Yatong Zhang, Delong Li, Laibao Liu, Ze Liang, Jiashu Shen, Feili Wei e Shangcheng Li nella città di Beijing in Cina<sup>[19]</sup>; si è concentrato in maniera significativa sulla correlazione tra le isole di calore urbane e l'incremento demografico della popolazione di Beijing, infatti i dati evidenziano come la città cinese negli anni ha avuto un

aumento costante della popolazione, denotando come attualmente vi abitino più di 20 milioni di residenti.

Questo dato ha permesso di porre le basi dello studio, anche, analizzando, in diverse fasce temporali, come questo aspetto abbia anche influenzato la necessità di incrementare il tessuto urbano, ma anche di come sia una delle cause principali delle isole di calore urbano; questo primo aspetto ha portato a svolgere una classificazione delle zone climatiche urbane di tipo dinamico grazie all'utilizzo delle immagini satellitari di LandSat, per poter avere questo sviluppo dinamico si è voluto prendere in esame l'evoluzione di questa casistica ogni anno per un arco temporale di 17 anni partendo dal 2000 fino al 2017.

Tramite l'utilizzo del software ENVI-met è stato possibile selezionare dei fotogrammi in periodi specifici, ovvero negli anni 2003, 2005, 2010 e 2017; per poi svolgere una riclassificazione accurata dei fattori principali come: matrice di confusione, il coefficiente Kappa e l'accuratezza complessiva, ottenuti grazie lo strumento di Matrice di confusione, poligoni o griglia, di SAGA GIS per stimare l'accuratezza della classificazione delle zone climatiche.

L'altro dato fondamentale è stato stimare la temperatura della superficie terrestre ottenuta separatamente tramite algoritmo, ciò ha permesso di integrare questi dati al telerilevamento ed avere, quindi, un calcolo dettagliato dell'intensità delle isole di calore nelle diverse zone climatiche durante gli anni 2000, 2006 e 2009.

D'altro canto, vi sono alcuni difetti, tra cui l'assenza di valutazioni o studi che determinino la qualità dell'aria nella città, visto la capacità di influenzare drasticamente lo sviluppo o la mitigazione delle isole di calore urbane; al contrario questa tipologia di analisi è stata svolta nel 2020 in Francia da Najla Touati, Thomas Gardes e Julia Hidalgo <sup>[15]</sup> realizzando una mappatura della temperatura dell'aria nel territorio francese.

Infatti, grazie all'utilizzo di plug-in di QGIS come SAGA GIS e TempMap è stato possibile riportare i dati riguardanti la qualità dell'aria e dell'umidità forniti da diverse stazioni meteorologiche nel territorio; questi dati successivamente implementati su QGIS hanno permesso di sviluppare una metodologia di consulenza urbanistica, grazie a TempMap per visionare le condizioni meteorologiche caratteristiche di determinate zone climatiche ma anche una mappatura coerente della corrente dell'aria negli ambienti urbani strettamente correlate fra loro.

Molti sono stati gli studi che evidenziano una relazione evidente tra correnti d'aria e tessuto urbano che possono generare o addirittura mitigare il fenomeno delle isole di calore, tra questi troviamo quello fatto da Silvana di Sabatino, Francesco Barbano, Erika Brattich e Beatrice Pulvirenti nel 2020<sup>[11]</sup>; lavorando ad una scala di quartiere e prendendo in esame nello specifico sette zone della città di Bologna.

Lo studio evidenzia la correlazione tra le temperature dell'aria nello strato d'ozono e le isole di calore urbano, aumentano la domanda media della popolazione e portano ad un picco di energia di raffreddamento su scala urbana e l'aumento delle emissioni di gas serra associate; pertanto, è evidente come abbiano cercato di individuare delle misure di mitigazione in grado di migliorare contemporaneamente il comfort termico e la qualità dell'aria.

In questo quadro, è stato riconosciuto come gli alberi delle strade urbane forniscono molti benefici ambientali, sociali ed economici per le città, tra cui la riduzione del consumo energetico degli edifici, la riduzione delle alte temperature urbane, la mitigazione delle isole di calore urbano; per determinare, quindi, queste soluzioni è stato pensato uno scanning delle aree basato sulle temperature delle facciate dei diversi edifici in diverse fasce orarie andando a calcolare in primis la differenza di temperatura che si verifica tra le diverse zone urbane andando ad identificare i fenomeni di canyon urbano; si è notato come ci sia la presenza di una relazione tra UHI e concentrazioni normalizzate, valutando di far interagire i fenomeni UHI e UPI, anche perché la circolazione termica all'interno dei canyon stradali può essere responsabile dell'aumento delle concentrazioni di inquinanti a livello pedonale.

Il metodo adottato per la velocità di convergenza UHI è stato quindi verificato mediante simulazioni CFD ad alta risoluzione in un canyon stradale idealizzato considerando due casi caratterizzati da direzione e intensità del vento simili ma differenze di temperatura dell'edificio opposte.

Le simulazioni hanno dimostrato che la differenza di temperatura tra le facciate degli edifici sui due lati del canyon portano a guidare la dinamica del flusso d'aria determinando la posizione e la forma dei vortici, governando definitivamente le concentrazioni di inquinanti nel canyon stradale. La stessa tematica viene ripresa da N. Touati, T. Gardes e J. Hidalgo<sup>[25]</sup> soffermandosi in particolare su uno studio basato sulla modellazione urbana tramite l'utilizzo di plug-in di qGIS per determinare la qualità dell'aria tramite i dati forniti dalle stazioni meteorologiche; in particolare si è andati a creare una collaborazione tra il software open source e la stazione meteorologica francese della città di Tolosa, riportando i dati di una rete di 27 stazioni impostata, tra febbraio 2004 e marzo 2005 e durante la campagna CAPITOUL.

I dati vengono riportati tramite lo strumento clip raster dalla libreria GDAL e produce un modello DEM ritagliato dall'estensione di un buffer di 100 m attorno allo strato Capitoul delle stazioni, (DEM\_CLIP), questo nuovo raster viene ricampionato a una risoluzione di 100 m; quindi, con il database MApUCE, la frazione di città viene calcolata in due passaggi: in primo luogo, i tre campi necessari per creare la frazione di città vengono rasterizzati utilizzando gli strumenti della libreria GDAL e successivamente i tre raster vengono aggiunti con QGIS Raster Calculator in un raster.

La valutazione della qualità viene qui eseguita in tre fasi, dapprima attraverso la barra R al quadrato del modello lineare multiplo,  $R^2_{adj}$  (Hengl et al., 2007), quindi, l'analisi della  $R^2_{adj}$  del modello finale dopo la calibrazione dei residui mediante kriging; infine, la qualità della mappa viene valutata confrontando i valori osservati con i valori stimati in ciascuna stazione e per ultimo, la valutazione viene effettuata sia per i valori osservati che per i valori previsti per stazioni e per zone urbane.

Questi dati vengono poi integrati all'interno di SAGA-Gis consentendo una modellazione geostatistica visualizzando la temperatura dell'aria superficiale prossimale in base ai vari tipi di stazioni meteorologiche esplorate e alle fasce orarie presentati; si nota come la risoluzione orizzontale è relativamente alta, 100 m fissati dal DEM, e come le informazioni sulla temperatura non dovrebbero essere interpretate alla scala dei pixel ma piuttosto ad una scala spaziale più alta di quella vicina.

Sempre nel 2020 Fabio Murena si è occupato della qualità dell'aria nella città campana di Napoli e di quale fosse l'impatto da parte dell'inquinamento stradale e delle attività urbane<sup>[9]</sup>; è stato strutturato un contatore di particelle ultrafini (CPC) P-Track 8525 per misurare la concentrazione del numero di particelle partendo da un valore minimo di 20 fino a 1000 nm.

Sono state monitorate quattro vie della città, ciascuna strada è stata suddivisa in tratti con valori costanti per le altezze degli edifici e larghezza della strada; tutti i tratti presentano di media canyon con tratti di strada lunghi, con un allungamento medio (H/W) che varia da 1,93 a 4,04, un solo tratto è stato classificato come canyon corto; durante la campagna di monitoraggio sono stati presi una serie di dati inerenti alla quantità di emissione di PM nell'aria, i valori medi, infatti, sia di PM<sub>10</sub> che di PM<sub>2,5</sub> sono stati ampiamente al di sotto dei valori limite stabiliti dalla CE in tutte e tre le stazioni fisse; il motivo principale dello sviluppo di questi inquinanti dell'aria era del traffico stradale.

Inoltre Fabio Murena assieme a Pietro Salizzoni hanno svolto una ricerca nelle aree Mediterranee nel 2021<sup>[14]</sup>; si sono soffermati sull'evidenziare le problematiche degli inquinanti nelle zone urbane mediterranee di 9 documenti inerenti alla casistica, con l'obiettivo di porre i primi passi necessari verso un approccio interdisciplinare al problema dello sviluppo sostenibile degli agglomerati urbani nell'area del Mediterraneo, con particolare attenzione all'inquinamento atmosferico.

Nel 2021 a Saint-Etienne viene fatto uno studio da parte di C. Marcel e J. Villot<sup>[27]</sup> soffermandosi sugli indici delle isole di calore urbano generando dei modelli semplificati su una micro-scala; Il modello si basa sul database BD TOPO V3 fornito da IGN, l'agenzia francese che fornisce dati geografici del territorio. Questo database contiene tutte le impronte e le altezze dell'edificio questi dati permettono di costruire un modello 3D delle città sul territorio modellando ogni

edificio come un parallelepipedo, il terreno è costruito come una griglia quadrata di 5 m di larghezza senza tener conto dell'altitudine.

Sono stati presi in esame i calcoli inerenti alle radiazioni ad onde corte e lunghe, dove le prime emanano calore dove viene calcolato per ogni periodo di simulazione l'albedo superficiale anche se la luce riflessa non viene presa in considerazione; al contrario gli scambi di radiazioni a onde lunghe sono correlati agli scambi superficie-superficie e superficie-cielo, per semplificare gli scambi superficie-superficie sono stati considerati nulli quindi vengono presi in considerazione solo gli scambi con il cielo, l'indice UHI tiene conto delle superfici in entrata dell'energia solare e l'inerzia degli edifici cittadini evitando l'uso di codici CFD che consumano troppi tempi di calcolo ed è semplicemente e debolmente legato al modello termico.

Il surriscaldamento della temperatura di fine notte, confrontato con la temperatura rurale nelle stesse condizioni, ha permesso di definire un indice UHI, compreso tra 0 e 1, che può essere interpretato come fattore di rischio di surriscaldamento; questo indice è stato definito per essere calcolato localmente con una precisione di 5 m.

S. W. Kim e R. D. Brown<sup>[5]</sup>, nel 2021, si sono voluti occupare di svolgere un'analisi su serie di letture mirando a generare un elenco di studi di livello base che fornissero risposte relative alle domande di ricerca per questa revisione inerente alle UHI; le diverse letterature sono state identificate utilizzando una strategia di campionamento approfondita che applica diverse combinazioni di parole chiave per formare stringhe di query univoche per i titoli, l'abstract e le parole chiave degli studi indicizzati, gli studi in questo SLR non hanno raccomandato un modello di valutazione UHI alternativo che incorpori l'analisi dei dati esperienziali per supportare misure politiche attive che potrebbero migliorare l'ambiente fisico di una città.

Un altro studio che si sofferma sul prendere in esame diversi testi è stato svolto dal gruppo di ricerca composto da M. E. Gonzalez-Trevizo, K. E. Martinez-Torres, J.F. Armendariz-Lopez, M. Santamouris, G. Bojorquez e A. Luna-Leon<sup>[23]</sup>, indirizzando in particolare uesta ricerca sugli impatti ambientali, energetici e di vulnerabilità delle Isole di Calore Urbane; soffermandosi in particolare sulla ricerca di una metodologia o di una strategia per sviare o quanto meno mitigare il fenomeno delle Isole di calore urbane, tenendo in considerazione valutazioni critiche, estrazione dati e analisi approfondite utilizzando come mezzo principale la piattaforma Scopus.

Un approccio molto interessante è stato svolto nel 2020 da Grazia Fattoruso, Martina Nocerino, Domenico Toscano, Luigi Pariota, Giampietro Sorrentino, Valentina Manna, Saverio De Vito, Armando Carteni, Massimiliano Fabbricino e Girolamo Di Francia<sup>[12]</sup>; dove l'obiettivo preposto era di realizzare una mappa di idoneità del sito per lo sviluppo di una rete di stazioni multisensore orientate al traffico a basso costo in una città che si pone a monitorare la qualità dell'aria urbana

a densità spaziale, per fare ciò, è stato sviluppato, nella città di Portici in Campania, un approccio spaziale basato sulla valutazione GIS.

È stato costruito un modello di traffico cittadino sulla base dei dati del traffico raccolti dai sondaggi d'archivio, da ciò i flussi calcolati sono stati utilizzati come input per il modello, le emissioni inquinanti di NOx e PM2.5 relative alla distribuzione del traffico della rete stradale sono state calcolate e assegnate a ciascun segmento; il passo successivo è stato quello di eseguire un'analisi hot-spot per identificare i modelli spaziali locali vicino alle strade, da questa analisi di clustering è stata ricavata una zonizzazione ad alta e bassa emissione di traffico non che delle zone ibride.

La zonizzazione delle aree è stata svolta tramite la realizzazione di un modello 3d grazie al software GIS che ha permesso di integrare 119 unità geografiche fornite dal censimento Istat, da questo è stato possibile determinare lo stato della rete stradale completo dove vi sono presenti le sezioni stradali con parametri di prestazione come: velocità del flusso libero, capacità delle corsie, svolte consentite e i flussi di circolazione agli incroci; tutto questo ha permesso di visionare il livello di mobilità, tali dati vengono ulteriormente approfonditi grazie all'inserimento di monitor e sensori presenti nei punti nevralgici e strategici delle diverse zone analizzate.

Si enuncia che la rete di questi monitor, opportunamente posizionate, consentono di indirizzare un monitoraggio della qualità dell'aria spazialmente densa in una città, garantendo una gestione urbana più affidabile.

Molto simile al precedente documento è quello di Luigi Fusco Girard e Francesca Nocca nel 2020<sup>[13]</sup>, dove si cerca di proporre delle soluzioni di monitoraggio ibrido delle aree urbane sottolineando l'importanza della conoscenza di strumenti efficaci per la valutazione degli impatti non solo sugli ambienti urbani ma anche sulla salute e nei processi decisionali; inoltre viene anche presa in considerazione la necessità di un coordinamento tra le istituzioni per rendere univoci gli approcci ed evitare lo spostamento di inquinanti da un'area popolata all'altra.

Viene citato come la valutazione degli impatti sulla salute causata dall'inquinamento dovrebbe diventare obbligatoria e parte integrante della progettazione di tutti gli interventi, a qualsiasi scala; gli studi di valutazione dell'impatto che mettono in evidenza i benefici per la salute e l'ambiente dovrebbero sostenere le politiche per le misure di mitigazione.

Anche i rifiuti possono contribuire all'inquinamento dell'aria ed all'alterazione delle zone climatiche urbane per questo è stato preso in esame un documento che tratta questa problematica, scritto da Marco Ravina, Angelica Facelli e Mariachiara Zanetti<sup>[5]</sup> dove illustrano il contributo al rischio delle emissioni di alocarburi dalle discariche di rifiuti pericolosi, per questo è stato valutato attraverso un approccio di analisi del rischio sanitario (HRA), considerando l'esposizione al rischio di chi ci lavora, il sito in questione è la discarica di Barricalla, situata vicino

alla città di Torino; svolgendo una prima analisi di tipo architettonico suddividendo l'area della discarica in diversi lotti in base alle loro funzioni.

Successivamente per ogni singolo lotto è stato preso una serie di dati tramite il monitoraggio dell'aria dell'ambiente considerando i valori mensili che vanno dal 2016 al 2017, questa analisi è servita per definirne la distribuzione di probabilità; successivamente è stato generato uno script Matlab per calcolare l'indice di rischio singolo e cumulativo, calcolate appunto per determinare le emissioni pericolose a cui possono incombere i lavoratori, in particolare sulle emissioni di alocarburi e HI.

Lo studio ha mostrato che possibili fonti di alocarburi entravano in discarica come "rifiuti parzialmente stabilizzati"; al contrario per risollevare le problematiche che emergono dall'uso del suolo e dagli inquinanti che possono defluire, Anastasia Zabaniotou e Katerina Stamou<sup>[6]</sup> si soffermano sui Biochar, che sono dei materiali carboniosi ottenuti per degradazione termica ricchi di sistemi aromatici e minerali.

L'obiettivo dello studio era quello di recuperare e selezionare le pubblicazioni appropriate e rilevanti per lo sviluppo della ricerca valorizzando le sperimentazioni e i risultati che trattano i rifiuti organici mediterranei considerandoli come precursori della produzione di biochar e delle proprietà chimiche del suolo; è stata svolta una ricerca avanzata inerente a questo tipo di materiale per poter trovarsi di fronte il numero maggiore di documenti al riguardo.

L'analisi di questi testi ha portato a considerare una tecnologia di pirolisi come produttore di biochar, i fattori pirolitici come ingegneria e parametri di progettazione influenzano le proprietà del biochar per il riciclaggio dei nutrienti e la fertilità del suolo a vantaggio della crescita delle piante e della riduzione delle emissioni di gas serra; queste letture hanno portato molte informazioni sulla produzione e le caratteristiche del biochar ma anche molti dati sperimentali sull'uso del biochar come materiale ammendante, portando a porre delle conclusioni su come questo prodotto possa essere usato per una gestione sostenibile dei flussi di rifiuti organici ma anche fanghi degli agglomerati urbani, dei rifiuti agricoli e animali delle aree rurali.

Tra i vari documenti che ho analizzato alcuni si soffermavano su alcune soluzioni di tipo verde o tramite l'inserimento di verde urbano per la mitigazione delle isole di calore e ottenere un clima più fresco e vivibile; tra questi troviamo quello scritto nel 2021 da Guglielmina Mutani e Valeria Todeschi considerando come caso studio la zona di Pozzo Strada a Torino<sup>[1]</sup>.

E' stato analizzata la capacità delle singole coperture di implementare delle possibili strategie a basse emissioni di carbonio o tramite l'installazione di collettori solari, ma anche il contrario evidenziando anche edifici che non possono essere compatibili con queste tipologie di tecnologie verdi; una prima fase ha previsto l'analisi delle coperture grazie alla realizzazione di modelli 3D tramite l'utilizzo del software ArchGIS prendendo tutti i parametri caratteristici come dimensioni,

pendenza e l'orientamento; successivamente sono stati identificati quegli edifici idonei a soluzioni verdi e in che zone dell'edificio possono essere inseriti valutando i seguenti aspetti: vincoli e normative (nessun edificio storico), materiali del tetto, vincoli di costruzione (nessun tetto in tegole), aree del tetto (superficie  $\geq 100 \text{ m}^2$ ), effetti d'ombra (ore di sole  $> 3 \text{ h}$ ) e pendenza del tetto ( $0^\circ \leq \text{pendenza} < 20^\circ$ ).

L'area potenziale dei collettori è stata dimensionata in modo da non avere una sovrapproduzione di ACS nel periodo estivo, mentre il valore dell'energia fornita dai pannelli fotovoltaici dipende da un'analisi costi e benefici; sono stati anche usati i software ENVI-met e SOLWEIG per determinare i valori del clima urbano per studiare le condizioni di comfort termico esterno, simulando le condizioni climatiche locali di uno dei giorni più caldi degli anni 2014 e 2015 riscontrando una media giornaliera di  $31,4^\circ\text{C}$ , con un irraggiamento solare giornaliero di  $6.680 \text{ (Wh/m}^2\text{/giorno)}$  con delle massime di  $36,5^\circ\text{C}$  inoltre si tiene anche da conto dei parametri della velocità del vento costante, con un massimo di  $2,7 \text{ m/s}$  e un minimo di  $0,4 \text{ m/s}$ , e dell'umidità relativa dell'aria tra il 30 e il 70%.

Da tutto questo è emerso che l'effetto delle tecnologie verdi intelligenti possono ridurre la dipendenza dall'energia da idrocarburi e combustibili fossili sfruttando l'energia solare e che i tetti verdi e le superfici verdi possono avere un impatto sul microclima urbano migliorando il comfort termico e il risparmio energetico; infatti, i risultati dimostrano ulteriormente che l'uso delle tecnologie verdi possono migliorare la vivibilità e la qualità di un quartiere torinese.

Un altro studio molto simile è stato svolto sempre a Torino, sempre da parte di Valeria Todeschi e Guglielmina Mutani tramite un approccio che prevede di valutare l'impatto dei tetti verdi e della vegetazione sul comfort termico interno ed esterno nelle città considerando strategie di mitigazione UHI <sup>[4]</sup>.

Viene strutturata una metodologia basata su GIS svolgendo un'analisi della vegetazione, in cui il verde urbano attuale è stato valutato a livello del suolo attraverso immagini satellitari sfruttando Landsat 8 ed ortofoto, prendendo visione anche del potenziale della vegetazione a livello del tetto, dove sono stati individuati quattro criteri principali: area del tetto, materiale del tetto, pendenza del tetto e ore di luce solare.

Il comfort termico esterno è stato uno dei fattori analizzati che impatta maggiormente i gradienti di temperatura tra cui: il fattore di vista del cielo, l'effetto canyon, la densità edilizia, con indici di comfort termico quali la temperatura apparente, l'indice di disagio, risparmio energetico e il comfort termico interno.

Questo lavoro ha dimostrato che il comfort termico esterno e interno aumenta proporzionalmente con la presenza di vegetazione, tetti verdi e valori più elevati dell'albedo delle

superfici urbane; d'altra parte, il disagio e l'effetto delle isole di calore urbano hanno comportato un aumento in relazione all'altezza e larghezza del canyon e della densità dell'edificio.

È stato sviluppato un approccio per quantificare rapidamente le aree verdi della città con modelli 2D, e 3D più accurati applicati solo a otto aree specifiche di Torino per valutare il potenziale di copertura verde; sono state analizzate tre tecnologie per tetti verdi con risultati che mostrano che i tetti verdi sono una tecnologia ad alta inerzia termica e garantiscono quindi sia un risparmio energetico che una temperatura interna stabile con conseguente miglioramento delle condizioni di comfort termico estivo e invernale.

Sempre prendendo in esame soluzioni di coperture verdi è stato svolto un approccio molto simile al precedente da Guglielmina Mutani, Valeria Todeschi e Simone Beltramino<sup>[3]</sup>, dove lo scopo è stato quello di quantificare l'impatto del tetto verde e delle aree vegetate sul comfort termico esterno in sei quartieri caratterizzati da diverse morfologie urbane situati nella città di Torino; per ogni quartiere è stato studiato uno scenario di integrazione verde all'interno dell'ambiente urbano, in funzione della forma dell'edificio, delle caratteristiche del tetto e della morfologia urbana, individuando le migliori misure di retrofit per raggiungere le condizioni ottimali di comfort termico; nello specifico è stata fatta una valutazione tenendo conto di 4 giorni che rappresentano le differenze climatiche stagionali al fine di valutare come il miglioramento dell'inverdimento influisca sul comfort termico urbano.

Per valutare il comfort termico sono stati usati dei software specifici come ENVI-met, Citysim, Rayman e SOLWEIG considerando i seguenti parametri del comfort termico: il voto medio previsto (PMV), la percentuale di insoddisfazione prevista (PPD), la temperatura fisiologicamente equivalente (PET), la temperatura effettiva standard (SET), l'indice climatico termico universale (UTCI) e l'indice di stress termico (ITS); da questo ogni quartiere è stato progettato grazie ad ENVI-met utilizzando celle a griglia con una risoluzione di 10 x 10 metri dimensione sufficientemente accurata per descrivere le sei zone ma non troppo dettagliata per aumentare i tempi di simulazione, è stata anche considerata la velocità e la direzione del vento come delle costanti simili alla temperatura e l'umidità relativa dell'aria, impostate con dei valori orari ottenuti dalla stazione meteorologica più vicina.

Al contrario troviamo come ci siano degli spunti più particolari nel approfondimento su Torino svolto da Valeria Todeschi, Simone Beltramino, Bernadette El Jsmous e Guglielmina Mutani<sup>[2]</sup>, dove l'oggetto dello studio si è soffermato non solo ad analizzare soluzioni di coperture verdi ma anche tipologie di tetti che possano promuovere un'efficienza energetica sfruttando fonti rinnovabili, tenendo conto delle diverse tipologie di utenza per poi considerare i diversi consumi energetici ed il comfort termico considerando tenendo conto della geometria edilizia, della morfologia urbana ed il clima delle diverse zone della città.

Il consumo di energia è stato simulato per gli edifici residenziali utilizzando il software CitySim Pro permettendo di come le forme urbane possano influenzare non solo le prestazioni energetiche degli edifici ma anche le condizioni di comfort termico esterno; poi, tramite l'uso di ENVI-met ha permesso di studiare l'impatto della morfologia urbana sulla temperatura dell'aria esterna degli ambienti urbani.

Per la realizzazione di un modello 3D sono stati utilizzati come materiali: ortofoto, uso del suolo e la carta tecnica comunale; da questi dati sono stati estrapolati i modelli ENVI-met con una risoluzione di 10x10 metri, tale risoluzione è stata scelta in base alla dimensione dell'area analizzata, alla dimensione dell'ambiente edilizio e al limite di tempo di calcolo del software; la simulazione delle condizioni di comfort è stata effettuata utilizzando il giorno più caldo per valutare come le caratteristiche urbane influiscano sul comfort termico urbano in condizioni climatiche estreme, questi dati meteorologici sono stati ricavati dalla stazione meteorologica più vicina.

Dall'analisi climatica locale è emerso che il sole diretto e la temperatura dell'aria sono due fattori che influenzano fortemente il comfort e sono definiti dalla morfologia urbana e dall'orientamento del quartiere.

Rimanendo in tema all'inverdimento urbano ed ai vantaggi che può portare, a Lecce, Riccardo Buccolieri, Elisa Gatto, Michela Manisco, Fabio Ippolito, Jose Luis Santiago e Zhi Gao<sup>[10]</sup> hanno posto come loro obiettivo è quello di valutare gli effetti dell'inverdimento urbano, considerando sia la qualità dell'aria che lo stoccaggio di CO<sub>2</sub> tenendo conto dei possibili impatti economici in un'area urbana reale, per la quale verrà eseguita una dettagliata ricostruzione delle caratteristiche morfologiche e vegetazionali.

Vengono in particolare usati due strumenti di modellazione che sono ENVI-met e i-Tree canopy: il primo, ENVI-met, è stato impiegato a livello stradale per ottenere l'impatto della vegetazione sulla concentrazione di inquinanti atmosferici nelle strade ad alta risoluzione questo modello riproduce e simula la dispersione degli inquinanti; invece il secondo software, i-Tree Canopy, è stato impiegato a livello distrettuale per ottenere una stima dello stoccaggio di CO<sub>2</sub>.

Un altro studio significativo svolto a Torino è stato quello di Matteo Bo, Pietro Salizzoni, Federica Pognat, Roberto Mezzalama e Marina Clerio dove si sono soffermati sulla combinazioni di due sistemi sviluppati nel 2019<sup>[7]</sup> che sono, uno il modello di dispersione SIRANE e l'altro lo studio indipendente #CHEARIATIRA per visionare il livello di emissioni di NO<sub>2</sub> nella città di Torino; prendendo singolarmente questi modelli si può evidenziare le rispettive caratteristiche fondamentali, la campagna di monitoraggio #CHEARIATIRA, che grazie a "Torino Respira", nel 2019 ha coinvolto la città e i comuni torinesi limitrofi per campionare l'aria esterna e verificare i livelli di NO<sub>2</sub> in ben 300 punti.

La relazione sviluppata da Midyan Aldabash, Filiz Bektas Balcik e Paul Glantz<sup>[8]</sup> è incentrata sugli aerosol antropogenici che influenzano il bilancio di radiazione e il clima della Terra direttamente disperdendo la luce solare nell'atmosfera; è stata svolta un'azione di campionamento grazie a dei sensori montati sui satelliti polari fornendo grandi scene di AOD a lunghezze d'onda spettrali multiple, tuttavia, l'AOD derivato dal satellite è associato a una bassa risoluzione temporale con dei pixel relativamente bassi non fornendo dati inerenti alla presenza di nuvole nell'atmosfera. Sono stati sfruttati MODIS e MIRS AOD visto la loro compatibilità con le misurazioni AERONET, sia per quanto riguarda la variazione annuale che stagionale combinando i dati ottenuti dal satellite Multi-Angle Implementation of Atmospheric Correction (MAIAC) e dal Chemical Transport Method (CTM), da questi dati hanno creato una serie temporale giornaliera completa; scoprendo che tutti e quattro i sensori satellitari avevano un'elevata capacità di rilevare eventi estremi di polvere e aerosol.

Hanno studiato la variazione spatio-temporale in MODIS Terra AOD rispetto a tre diverse lunghezze d'onda convalidando i prodotti MODIS AOD rispetto a quelli AERONET; è stato riscontrato come. Il primo modello di AOD tende a sovrastimare il secondo sulla maggior parte dei siti di studio.

C'è una chiara variazione annuale dalle due piattaforme, tuttavia, MODIS nel complesso tende a sopravvalutare e sottostimare l'AOD, se confrontato con AERONET; inoltre, MODIS ha rilevato un numero sostanzialmente maggiore di giorni con eventi estremi superiori a 0,5, il che significa una percentuale tra il 55% e il 24.

In fine l'ultimo articolo preso in esame è lo studio svolto da Shunlin Liang andando ad approfondire la metodologia usata per il calcolo della Surface Albedo tramite diverse bande rosse e infrarosse derivate da diversi macchinari di rilevamento satellitare, suddetto studio è stato suddiviso in due parti una pubblicata nel 2000 e la parte successiva nel 2002; nella prima parte dell'analisi svolta da S. Liang è andato a calcolare tramite diversi satelliti l'Albedo superficiale, come detto in precedenza per svolgere questo calcolo sono stati presi in esame diversi satelliti ovvero: AVHRR, ETM+/TM, GOES, MODIS, MISR, POLDER, and VEGETATION.

Invece, per quanto riguarda la seconda parte del documento, oltre a ripetere le formule fondamentali per il calcolo dell'albedo nelle sue diverse fasi, vengono presentati i risultati della convalida per tre albedo a banda larga (onde corte totali, -visibile e -vicino IR) utilizzando la misurazione a terra di diversi tipi di copertura in cinque diversi giorni a Beltsville, MD. I risultati mostrano che le formule di conversione nel documento precedente sono molto accurate e gli errori standard residui medi delle albedo a banda larga risultanti per la maggior parte dei sensori sono di circa 0,02, il che soddisfa l'accuratezza richiesta per la modellazione della superficie terrestre.

	Autore	Anno	Luogo	Scala	Oggetto	Fattori considerati	Programmi-analisi	Risultati	Altro
[28]	S. Ghosh, M. Deshmukh	2022	Anuagabad	Territoriale	Geo localizzazione delle isole di calore urbane grazie ai dati satellitari	Temperatura diurna, dati satellitari, indici di calore, LULC, NDVI	QGIS, Landsat 8, Temp-Map	I dati multitemporali telerilevati possono essere utilizzati con successo per la previsione degli hotspot delle isole di calore nell'area urbana	-
[32]	R. S. Bala	2021	Tolosa	Territoriale	Analisi dei microclimi per la mitigazione delle isole di calore urbane tramite un approccio di mitigazione tramite mappatura urbana	UTCI, PET, Sky View Factor, LULBU, Vegetation, comfort termico, Topografia urbana, inquinamento urbano, pattern ombre	Landsat 8, ArchGIS	Va a determinare tre step per la mitigazione delle isole di calore Urbane a Tolosa, tramite il calcolo di diversi indicatori urbani	-
[1]	G. Mutani, V. Todeschi	2021	Torino	Urbana	Tecnologie verdi integrate nelle coperture	Condizioni di comfort termico, parametri urbani, tecnologie verdi, condizioni di risparmio energetico	City Sim, GIS-based, QGIS, ENVI-met,	Emerge che l'uso delle tecnologie verdi può migliorare la vivibilità e la qualità di un quartiere torinese.	-
[2]	V. Todeschi, S. Beltramino, B. El Jamous, G. Mutani	2021	Torino	Quartiere	Architettura a basso consumo energetico per quartieri sostenibili	Variabili energetiche, parametri urbani, condizioni climatiche locali, condizioni di comfort termico	Analisi di sensitività, ENVI-met,	Quando aumenta il tasso di infiltrazione, il WWR, gli edifici tendono a consumare di più' ogni anno	-
[3]	V. Todeschi, S. Beltramino, G. Mutani	2021	Torino	Quartiere	Migliorare la vivibilità' ed il comfort termico urbano grazie all'inserimento di verde urbano	Parametri di comfort termico esterno, morfologia urbana, tipologie di aree verdi, soluzioni verdi	ENVI-met, City Sim, Rayman, GIS-based, SOL WEIG	La grande influenza da parte della morfologia Urbana per il comfort termico può essere migliorato dall'utilizzo di aree verdi	-
[14]	F. Murena, P. Salizzoni	2021	Aree Mediterranee	Urbana, Quartiere	Qualità dell'aria e sviluppo sostenibile per migliorare la vita negli agglomerati urbani	Qualità dell'aria, parametri urbani, inquinanti dell'aria, indici di vegetazione	ENVI-met	Approvazione per materie prime locali per la realizzazione di biomasse per il biochar	-
[19]	Y. Zhang, D. Li, L. Liu, Z. Liang, J. Shen, F. Wei, S. Li	2021	Beijn	Urbana	Caratteristiche spazio-temporali delle isole di calore urbano legate alle zone climatiche e alla popolazione	Aspetti climatici, popolazione, parametri urbanistici, parametri termici, parametri spazio-temporali	Landsat 5-6-8, SAGA-GIS, ENVI-met, analisi spazio-temporale	Incremento significativo dell'UHI nel corso degli anni	Sviluppo negli anni degli anelli urbani della città di Beijn
[20]	J.E. Escoto, A. Bianco, A. Baloloy, R. R. C. S. Ana,	2021	Quezon	Urbana	Modellazione e valutazione geospaziale delle isole di calore urbane	Temperatura della superficie terrestre, radiazione solare, parametri urbanistici	Landsat 8, SAGA-GIS, analisi tramite la realizzazione di più' modelli	Solo uno dei modelli realizzati presenta caratteristiche coerenti con i parametri presi in esame	-
[22]	S. W. Kim, R. D. Brown	2021	-	-	Stime di intensità e magnitudo delle isole di calore urbano	Parametri energetici, intensità di calore, bilancio energetico	Analisi tassonomica	Necessità di integrare studi spaziali tridimensionali inerenti al fenomeno dell'UHI rispetto ai studi lineari	-

	Autore	Anno	Luogo	Scala	Oggetto	Fattori considerati	Programmi-analisi	Risultati	Altro
[23]	M. E. Gonzalez-Trevizo, K. E. Martinez-Torres, J. F. Armendariz-Lopez, M. Santamouris, G. Bojorquez-Morales, A. Luna-Leon	2021	-	-	Impatti ambientali, energetici e di vulnerabilità delle isole di Calore Urbane	Parametri urbani, parametri ambientali, parametri climatici, parametri inquinanti	Analisi di telerilevamento, approccio geospaziale	Dati significativi inerenti all'inquinamento ambientale urbano	-
[24]	Alder, J. Bandyopadhyay, P. E	2021	Calcutta	Territoriale	L'effetto dello sviluppo urbano sull'isola di calore urbana	Indici di vegetazione, indici climatici, parametri urbani, indici spettrali, dati falde acquifere	analisi fisico matematica	Necessità di ulteriori studi, anche in considerazione dei dati degli inquinanti presenti nelle acque sotterranee	-
[26]	D. H. Garcia, J. A. Diaz	2021	Granada	Territoriale	Modellazione dell'isola di calore urbano su zone climatiche locali tramite immagini satellitari	Dati satellitari, dati territoriali, indici climatici, indici termici, NDVI, indici dell'aria, inquinanti dell'aria	SAGA per QGIS, Sentinel 3, analisi di classificazione, analisi fisico-matematica	Dati positivi e negativi utili per il rilevamento di nuovi inquinanti	-
[27]	C. Marcel, J. Villot	2020	SaintEtienne	Urbana	Realizzazione di un modello semplificato per la classificazione degli indici UHI	Radiazioni a onda corta e onda lunga, dati termici, dati aree verdi, dati atmosferici, indici UHI	BD TOPO V3, Word Urban Database, QGIS, Python	Definizione di un indice UHI, compreso tra 0 e 1, che può essere interpretato come fattore di rischio di surriscaldamento	-
[4]	V. Todeschi, G. Mutani	2020	Torino	Urbana	Gli effetti dei tetti verdi sul comfort termico esterno, sulla mitigazione delle isole di calore urbane e sul risparmio energetico	Parametri di Comfort termico, morfologia urbana, parametri geografici e satellitari, parametri energetici, indici di vegetazione	Landsat8, QLI-TRIS, GIS-based, Arc-GIS10	Valutazione per il recupero delle aree critiche grazie a soluzioni verdi	-
[5]	M. Ravina, A. Facelli, M. Zanetti	2020	Torino	Architettonica	Emissioni di alcarbonio da discariche di rifiuti pericolosi	Inquinanti dell'aria, parametri per determinare la qualità dell'aria, rifiuti pericolosi	Matlab, analisi rischio per la salute, analisi per possibili fonti di VOC	La causa delle emissioni non strettamente legata agli alocarburi	-
[6]	A. Zabianotou, K. Stamou	2020	Regioni Mediterranee	Territoriale	Biochar elemento che controbilancia il cambiamento climatico	Qualità dell'aria, parametri geografici, caratteristiche urbane, Biomasse	Analisi SWOT	Urgente gestione dei rifiuti di tipo organico e ricerca di un approccio coerente per la loro gestione	Rifiuti nell'area mediterranea
[7]	M. Bo, P. Salizzoni, F. Pognant, R. Mezzalama, M. Clerico	2020	Torino	Urbana	Valutazione della presenza di NO2 negli ambienti urbani	Qualità dell'aria, inquinanti dell'aria, modelli di dispersione urbana, caratteristiche urbane, parametri geometrici	QGIS	L'inserimento di ricettori e dispersori urbani verificare la qualità dell'aria	The CHEARIATIRA campagna scientifica cittadina
[8]	M. Aldabash, F. B. Balcik, P. Glantz	2020	-	-	Telerilevamento degli inquinanti aerosol nell'atmosfera	Umidità relativa, parametri temporali, inquinanti atmosferici	MODIS, AERONET, MERRA2, ENVI IDL, analisi comparativa	In base alle casistiche i tre modelli di rilavamento satellitare possono avere prestazioni migliori rispetto ad altri	-
[9]	F. Murena	2020	Napoli	Urbana	L'impatto del traffico veicolare e delle attività di ristorazione sulla qualità dell'aria	Caratteristiche qualità dell'aria, inquinanti dell'aria, parametri urbani,	P-Track 8525, analisi di campionamento	Tasso elevato di inquinanti nel centro di Napoli	-

	Autore	Anno	Luogo	Scala	Oggetto	Fattori considerati	Programmi-analisi	Risultati	Altro
[10]	R. Buccolieri, E. Gatto, M. Manisco, F. Ippolito, J. L. Santiago, Z. Gao	2020	Lecce	Quartiere	Inverdimento urbano per la riduzione della CO2 ed inquinanti	Morfologia Urbana, dispersione di inquinanti dell'aria, vegetazione urbana, Dispersioni	i-Tree Canopy, ENVI-met, analisi investigativa dei distretti	L'inserimento di verde urbano può portare benefici.	-
[11]	S. Di Sabatino, F. Barbano, E. Brattich, B. Pulvirenti	2020	Bologna	Urbana, Quartiere	Influenza delle isole di calore urbano sulla qualità dell'aria	Isole di calore urbane, canyon stradali urbani, rilevazione della temperatura, parametri della circolazione termica	analisi termografica a multi-scala	Circolazione termica causa dell'inquinamento pedonale	-
[12]	G. Fatturoso, M. Nocerino, D. Toscano, L. Pariota, G. Sorrentino, V. Manina, S. De Vito, A. Carteni, M. Fabbricino, G. di Francia	2020	Portici	Urbana, Quartiere	Inserimento di reti di sensori a basso costo per il monitoraggio dell'inquinamento atmosferico urbano a densità spaziale	Inquinanti dell'aria, concentrazione di emissioni, parametri urbani, geometria urbana, regimi delle brezze	GIS, PTV Visum, ESRI-ArcGIS Pro, Local Government 3D	Elevata granularità dei dati rilevati da monitor a basso costo	Sono previsti ulteriori studi futuri per un calcolo più accurato per l' idoneità del sito
[13]	L. F. Girard, F. Nocca	2020	-	-	Cambiamenti climatici e impatti sulla salute nelle aree urbane valutati tramite sistemi ibridi	Modelli di valutazione ibridi, parametri dei cambiamenti climatici, pianificazione urbana, modelli di economia circolare	Relazione di diversi testi analizzati	Necessità di un coordinamento delle varie istituzioni per la realizzazione di sistemi di valutazione urbana	Piani di recupero post COVID-19
[15]	N. Touati, T. Gardes, J. Hidalgo	2020	Francia	Territoriale	Mappatura della temperatura dell'aria nel territorio	Dati meteorologici, dati topografici, Dati climatici,	QGIS, SAGA GIS, TempMap (QGIS plug-in), analisi statistica	Temperatura dell'aria statisticamente correlata all'uso del suolo nelle diverse aree del territorio	-
[17]	A. Rahul, M. Mukherjee	2020	Chandigarh	Urbana	Relazione tra le isole di calore e la morfologia urbana all'interno di un clima umido	Trasmissione atmosferica, Temperatura atmosferica, Parametri termici, indici di emissività, parametri climatici	SAGA-GIS, Landsat 8	Rilevazione delle zone urbane con la presenza più alta di UHI	-
[25]	N. Touati, T. Gardes, J. Hidalgo	2020	Tolosa	Territoriale	Realizzazioni di modelli tridimensionali per la classificazione della qualità dell'aria	Qualità dell'aria, parametri urbani, inquinanti dell'aria, dati climatici	Ogis, SAGA-GIS, TempMap, analisi di classificazione,	Dati conclusivi più completi con un grado di dettaglio a larga scala	-
[16]	I. Estacio, J. Badaan, N. J. Pesson, A. Blanco, J. E. Escoto, C. K. Alcantara	2019	Quezon	Urbana	Utilizzo di software per la mappatura delle zone climatiche urbane	Parametri urbani, parametri satellitari, Sky view factor, Surface albedo, Pervious Surface Fraction	ArcGIS, SAGA GIS, Python	Sviluppo di una metodologia tramite GIS per la classificazione tramite un algoritmo basato su automi cellulari	-
[29]	G. Mutani, V. Todeschi	2019	Torino	Territoriale	Gli effetti dei tetti verdi sul comfort termico esterno, la mitigazione dell'isola di calore urbana e il risparmio energetico	NDVI, Parametri urbani, parametri satellitari, albedo, indici di comfort	GIS	Ricoprire i tetti di vegetazione e creare aree urbane verdi può fornire diversi benefici e la diminuzione dell'inquinamento atmosferico	-
[18]	A. Favretto	2018	Trieste	Urbana, Quartiere	Telerilevamento delle isole di calore urbano tramite l'utilizzo di GIS	Densità urbana, Parametri della temperatura territoriale, NDVI,	GIS, Landsat 8	Evidenti riduzioni delle aree verdi nella città	-

	Autore	Anno	Luogo	Scala	Oggetto	Fattori considerati	Programmi-analisi	Risultati	Altro
[21]	R. Wang, C. Ren, Y. Xu, K. K. Lau, Y. Shi	2018	Hong Kong	Territoriale	Mappatura tramite software delle zone climatiche urbane	Parametri climatici, parametri urbani,	GIS, modello WUDAPT, analisi di comparazione	L'analisi tramite GIS dimostra un livello di accuratezza migliore rispetto al modello WUDAPT	-
[29]	S. Liang, C. J. Shuey, A. L. Russ, H. Fang, M. Chen, C. L. Walthall, C. S. T. Daughtry, R. Hunt Jr	2002	Betsville	-	Conversioni da banda stretta a banda larga dell'albedo I	Calcoli algebrici, albedo, dati satellitari	Gis, ASTER, AVHRR GOES, MODIS, MISR, Landsat, vegetazione	Le differenze di albedo sono attribuite a diversi fattori, che vengono raccolti e integrati in bande spettrali	-
[30]	S. Liang	2000	-	-	Conversioni da banda stretta a banda larga dell'albedo I	Calcoli algebrici, albedo, dati satellitari	Gis, ASTER, AVHRR GOES, MODIS, MISR, Landsat, vegetazione	Questo studio, basato su ampie simulazioni di trasferimento radiativo che hanno incorporato molti spettri di riflettanza e dati climatici per il calcolo dell'albedo	-

### 1.2.2 Testi di riferimento per le analisi

Dalle diverse letture e tesi presi in esame è stata fatta una selezione di questi, andando a scegliere quelli in particolare che potessero essermi utili per la mia tesi e dunque integrare formule e tipologie di dati che potessero darmi un quadro più definito del fenomeno delle UHI; in primis uno dei testi che ho voluto sfruttare è stata l'analisi svolta da A. Rahul e Mukerjee ove non mi è stato solo utile lo scolo della loro ricerca nel correlare gli impatti del cambiamento morfologico alle isole di calore ma anche per riprendere la metodologia di calcolo della NDVI e della LST ma anche creare una schematizzazione delle diverse zone climatiche; ancora più dettagliato è stato lo studio di Andrea Favretto nella città di Trieste ove illustra fase per fase come applicare la metodologia del calcolo della NDVI ed LST e le tipologie di bande, derivate dalle immagini satellitari NASA Landsat 8, da sfruttare all'interno delle formule all'interno del software Quantum GIS.

Un altro studio importante da cui ho preso spunto per il calcolo delle UHI è stato quello svolto da parte di J. E. Escoto, A. Baloloy, A. Blanco e R. R. C. Sta. Ana mi è stata utile questa ricerca perché anche in questa casistica è stato possibile determinare il calcolo della LST tramite l'utilizzo dei dati satellitari distinguendo diverse zone tra la tipologia urbana e rurale dunque determinare un indice per il calcolo della UHI, di cui mi è stata molto utile la UTFVI ovvero la "*Urban Thermal Field Variance Index*" illustrando anche i diversi gradi con cui viene classificato; un altro studio significativo che mi è stato da spunto è quello svolto da G. Mutani e S. Beltramino inerente a valutare quali strumenti GIS sono più utili per valutare le condizioni di comfort termico esterno basate sul luogo, a scala urbana; da questo studio ho preso come riferimento, per alcune analisi che svolgerò successivamente nella mia tesi, il calcolo degli indici di comfort termico nello specifico PET e UTCI applicato per il tessuto urbano esterno.

Gli studi svolti inerenti il tessuto urbano e la morfologia del territorio oltre ad essere importanti per il calcolo delle UHI sono state importanti anche per svolgere delle analisi ancora più significative per quanto riguarda le diverse tipologie di morfologie e nel dettaglio lo studio svolto da G. Mutani e V. Todeschi del 2021 ove è stato utile la classificazione delle diverse coperture, tra cui quelle verdi ed in relazione alle diverse tipologie di tessuto urbano quali fossero i fabbricati edilizi ove fosse possibile integrare coperture verdi; un altro spunto per approfondire questo tema che compone una parte importante della mia tesi è stato un altro studio svolto da G. Mutani e V. Todeschi ove si occupava degli effetti dei tetti verdi sul comfort termico esterno, la mitigazione dell'isola di calore urbana e il risparmio energetico ove è stato utile le considerazioni svolte sia sul confronto tra le aree verdi preesistenti e i livelli di NDVI ma anche per lo studio di

classificazione della possibile potenzialità o meno se una copertura potesse essere soggetta ad interventi green ed il loro comportamento per la mitigazione delle UHI.

In fine l'ultimo studio che ho voluto sfruttare è stato quello svolto sul calcolo dell'Albedo superficiale da parte di Shunlin Liang sfruttando diverse stazioni satellitari in particolare troviamo quella della NASA Landsat8 che sarà quella da cui prenderò i dati per essere utilizzati all'interno dei miei calcoli dell'albedo; andando ad approfondire per cos'altro mi è stato utile questa ricerca nel poter usufruire delle formule per il calcolo della "*Near Albedo*" e della "*Visible Albedo*".

## 1.4 Software Utilizzati

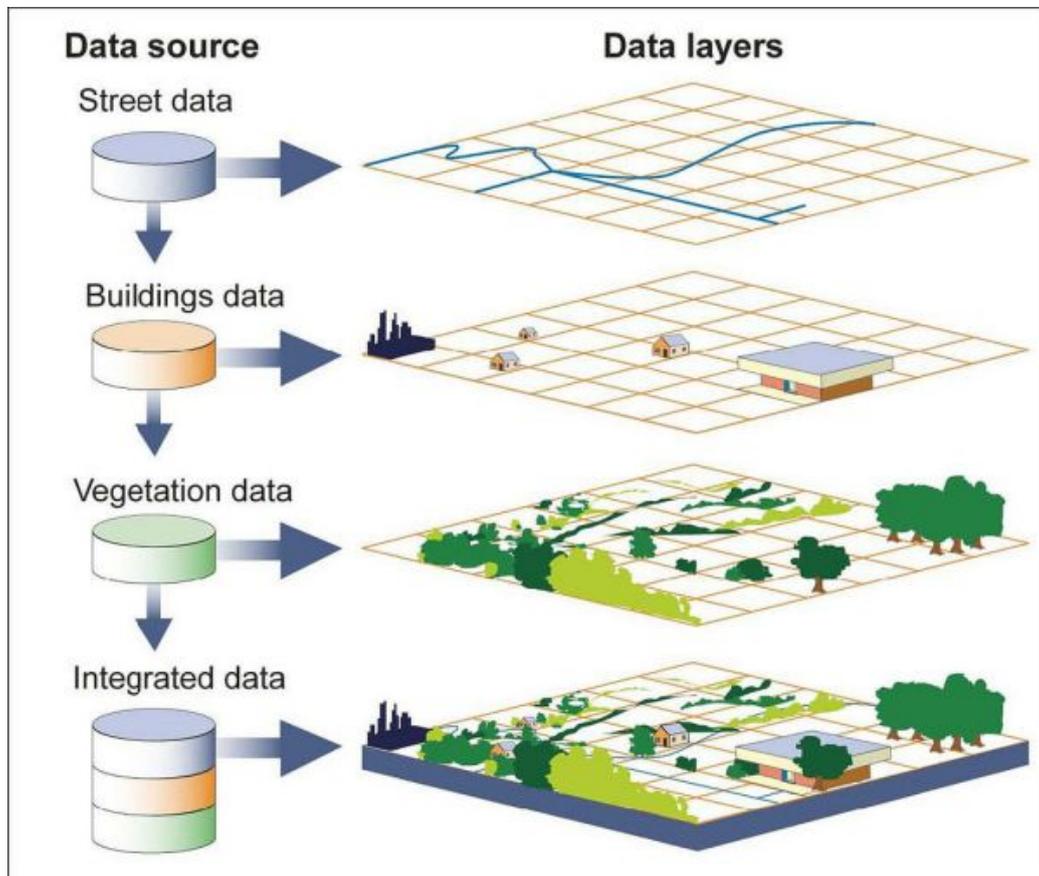
### 1.4.1 Quantum GIS

Per poter svolgere i miei studi sarà fondamentale l'utilizzo di uno strumento che possa rendere possibile tutto ciò e dunque rendere in maniera cartografica queste informazioni e dare una dimensione fisica di quest'ultimi; dunque, per questo il software utilizzato è il programma urbanistico Quantum GIS.

Quantum GIS o semplicemente noto come QGIS è un software open source realizzato nel 2002 da Gary Sherman, nato per la semplice necessità di poter visualizzare dei dati PostGIS; questo software gratuito è utilizzabile su diverse piattaforme e supporta numerosi formati, tra cui vettoriali, raster, e database.

Questo software è in grado di gestire informazioni geo-referenziate andando ad integrare i dati nel sistema GIS dividendoli in livelli e poter essere analizzati per andare poi a creare immagini o "mappa" con la possibilità di personalizzare la grafica e quindi tematizzarli e quindi svolgere analisi avanzate di GIS grazie anche all'utilizzo di gradazioni di colori, sfumature che rendono un valore unico ai dati che si vogliono esplicitare; la tecnologia GIS, infatti, integra in sé sistemi che permettendo di effettuare operazioni di analisi e ricerca proprie dei Database, con l'analisi geografica e la rappresentazione tipica del CAD; In questo modo si ha una resa maggiore perché si riesce ad analizzare un'area geografica a 360° analizzando simultaneamente: dati geografici, dati topologici ed informativi; infatti la tematizzazione delle cartografie permette di integrare diverse informazioni e dunque interpolarle fra di loro facendo risaltare le informazioni principali e creando immagini che possono variare da temi di tipo ambientale, climatiche, demografiche e urbanistiche, questa tipologia di analisi basate sulla tematizzazione è fondamentale

strutturata sulla sovrapposizione di diversi livelli mettendo, come detto in precedenza, in risalto i dati che rappresentano la base o il tema principale della tematizzazione ma permettendo comunque di rendere visibile anche gli altri livelli presenti.



*Fig.5 Schema della sovrapposizione ed interpolazione di informazioni dei diversi layer*

Si può considerare che questo software open source viene principalmente impiegato per esigenze di tipo urbanistico di ogni tipo che possono essere la pianificazione gestione urbanistica del territorio, mappature geologiche, mappature sismiche, realizzazione di piani regolatori ed anche studi di impatto ambientale che sarà, appunto, il tema principale delle analisi che svolgeremo successivamente.

La tematizzazione dei diversi dati è una delle principali funzioni che un software della tipologia di QGIS può rendere disponibile, infatti è un'azione abbastanza spontanea la distribuzione dei colori ai differenti strati informativi per differenziarli tra di loro o per far risaltare una tematica di interesse o addirittura per operare una scelta, in prima forma, per delle analisi spaziali; infatti cambiare simboli e colori delle geometrie, aggiungere etichette permettono di facilitare la lettura dei dati geometrici, generando una tematizzazione delle cartografie molto semplificata.

## 1.4.2 Umep SOLWEIG

Come detto Quantum GIS presenta una libreria o database ben fornito di plugin che permettono di fare studi e analisi avanzate all'interno del software rispetto agli strumenti base presenti all'interno dell'software, tra questi un considerato molto utile per lo studio e calcoli climatici è Umep SOLWEIG; questo plugin è uno strumento dello studio climatico basato sull'andamento morfologico urbano, andando a combinare modelli e strumenti essenziali per le simulazioni climatiche, le sue potenzialità permette di svolgere calcoli nell'identificazione di ondate di caldo e ondate di freddo; l'impatto delle infrastrutture verdi sul deflusso; gli effetti degli edifici sullo stress termico umano, la produzione e il livello di energia solare e l'impatto delle attività umane sulle emissioni di calore.

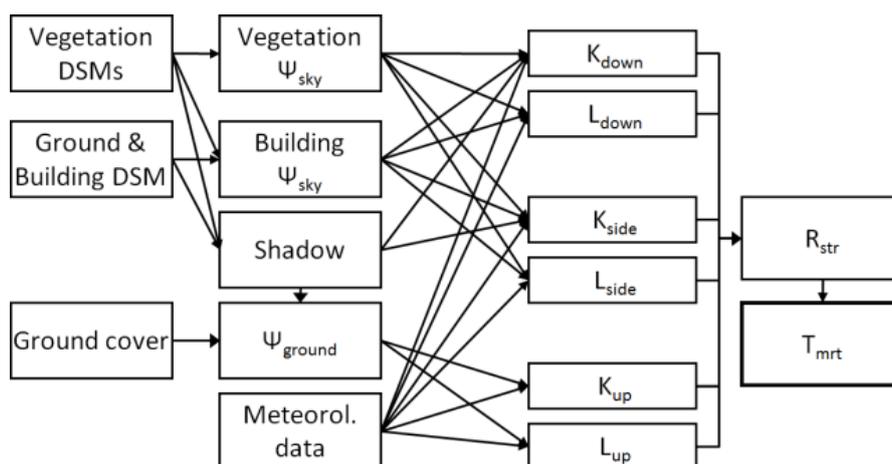
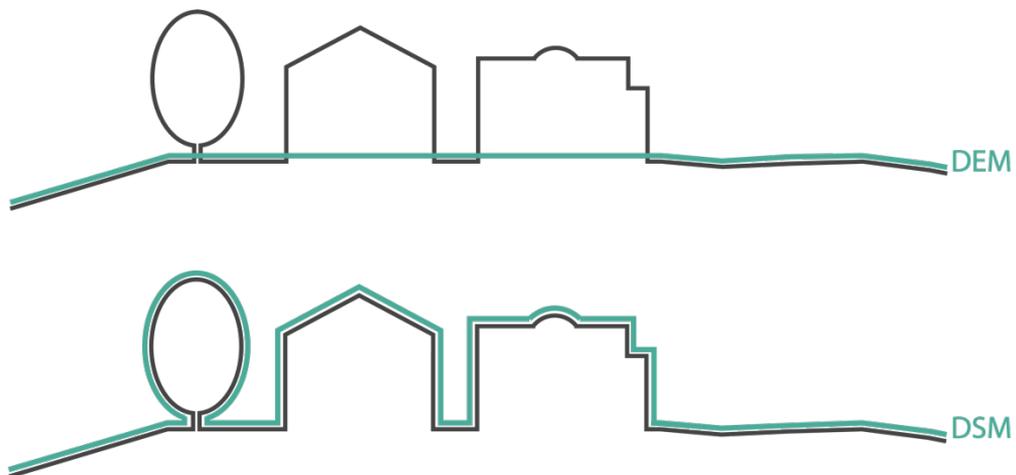


Fig.6 Struttura del calcolo Umep SOLWEIG della Tmrt e delle UHI

UMEP ha anche un'ampia utilità per le applicazioni relative al comfort termico all'aperto, al vento, al consumo energetico urbano e alla mitigazione dei cambiamenti climatici; include strumenti per inserire dati atmosferici e di superficie da più fonti, per caratterizzare l'ambiente urbano, per preparare dati meteorologici da utilizzare nelle città e per poi intraprendere simulazioni e scenari per confrontare e visualizzare diverse combinazioni di indicatori climatici; per svolgere questo genere di studio sarà fondamentale l'utilizzo di una serie di dati che lo stesso plugin ritiene necessari per per lo svolgimento di questi studi, nello specifico sono:

- DEM (Digital Elevation Model)

- DSM (Digital Surface Model)
  - CDSM e TDSM (Canopy digital elevation model e Trunk zone)
  - WA e WH (Wall Aspect e Wall High)
  - Sky View Factor
  - POI (Punti di interesse)
  - Land Cover
  - Dati meteorologici
- **DEM (Digital Elevation Model):** Un modello digitale di elevazione (anche noto come DEM, è la rappresentazione della distribuzione delle quote di un territorio, o di un'altra superficie, in formato digitale. Il modello digitale di elevazione viene in genere prodotto in formato raster associando a ciascun pixel l'attributo relativo alla quota assoluta del terreno.
  - **DSM (Digital Surface Model):** riportate le stesse informazioni di quota di un file DEM comprendendo anche le altezze dei manufatti presenti sul terreno come edifici ed alberi



*Fig.7 confronto andamento file DEM e DSM*

- **CDSM e TDSM (Canopy digital elevation model e Trunk zone):** L'altezza o la distanza residua tra il suolo e la sommità degli oggetti sopra di essi; nello specifico questi due dati riportano solo le altezze degli alberi considerando il suolo come quota zero; l'aspetto che distingue il CDSM dal TDSM è che il primo riporta sia l'altezza e diametro dell'intero albero (tronco e chioma) invece il TDSM si limitava solo al tronco.

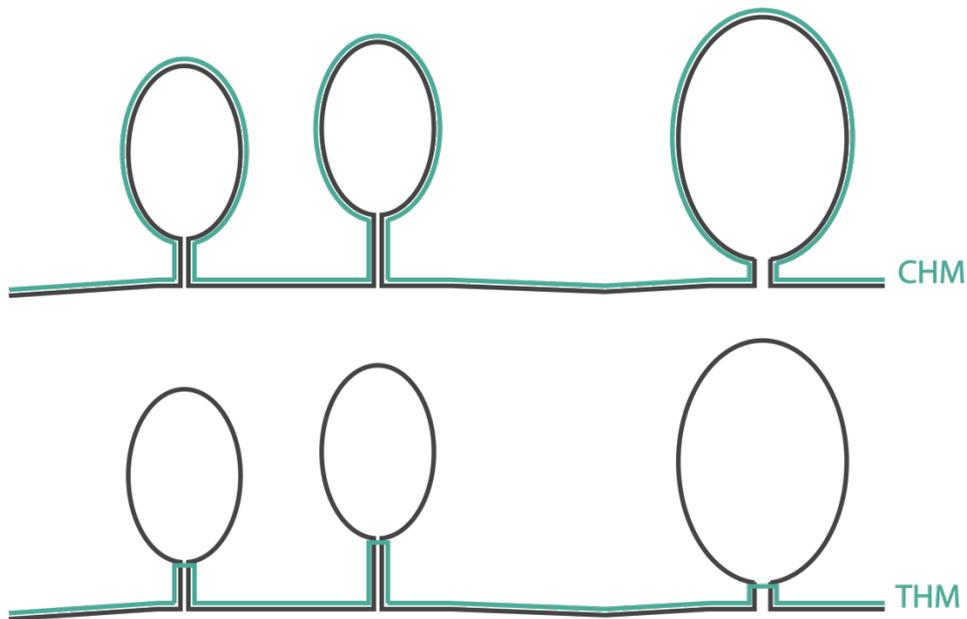


Fig.8 illustrazione schematica della differenza tra CDSM e TDSM

- **WA e WH (Wall Aspect e Wall High):** il primo parametro WA indica l'aspetto del muro ed è espresso in gradi dove un pixel del muro è rivolto, ad esempio se è a nord ha un valore pari a zero, invece la WH può essere utilizzato per identificare i pixel della parete e la loro altezza dal suolo e costruire modelli di superficie digitale (DSM).
- **Sky View Factor:** indica la porzione di cielo visibile da un punto di osservazione, maggiore è lo SVF e maggiore è la perdita di calore in atmosfera, i valori di misurazione possono variare da 0,0 in caso di cielo completamente ostruito e quindi non visibile, a 1,0 nel caso di cielo completamente visibile a 360 gradi.
- **POI:** Rappresentano dei punti specifici localizzati geograficamente all'interno dell'area caso studio ove vengono svolti studi approfonditi; nello specifico Umap ne richiede due denominati come "piazza" e "parco".
- **Land Cover:** Una griglia raster ove si riporta l'andamento sintetizzato dell'area ove si vuole svolgere le analisi suddividendole per 7 sette categorie che sono: 1. Superfici pavimentate, 2. Superfici edilizie, 3. Alberi e arbusti sempreverdi, 4. Alberi e arbusti decidui, 5. Superfici erbose, 6. Terreno nudo, 7. Acque aperte.
- **Dati Meteorologici:** rappresentano i dati forzati necessari per il calcolo delle diverse tipologie di modelli presenti su Umap, nello specifico il software necessita l'utilizzo di parametri specifici che sono:
  - iy= anno
  - id=giorno dell'anno

- it=ora
- imin=minuto
- qn=radiazione netta di tutte le radiazioni
- qh=flusso sensibile di calore
- qe=flusso latente di calore
- qs=flusso di calore immagazzinato
- qf=flusso antropogenico di calore
- U=velocità del vento
- RH=umidità relativa
- Tair=temperatura dell'aria
- pres=pressione barometrica superficiale
- rain=precipitazioni
- kdown=radiazioni ad onde corte in entrata
- snow=neve
- ldown=radiazioni a onde lunga in entrata
- fcd=frazione di nuvole
- wuh=uso esterno dell'acqua
- xsmd=umidità del suolo
- kdiff=radiazione diffusa ad onde corte
- kdir=radiazione diretta ad onde corte
- wdir=direzione del vento

## 1.5 Caso Studio Città Metropolitana di Torino

Torino è un comune italiano di 836 805 abitanti capoluogo della regione Piemonte e dell'omonima città metropolitana, sorge nella pianura delimitata dai quattro fiumi Stura di Lanzo, Sangone e Po ove quest'ultimo attraversa la città da sud verso nord delimitando il tessuto metropolitano della città rispetto all'inizio dei colli posti a ridosso del fiume Po; la divisione tra la parte collinare e quella, quasi pianeggiante, della città, è collocata tra i 220 e i 280 metri sul livello del mare; sempre di fronte allo sbocco del fiume PO si notano alcune vallate alpine tra cui: la Val di Susa che collega la città con la vicina Francia attraverso i trafori del Frejus , Valli di Lanzo e Val Sangone.

Oltre ai tre corsi d'acqua prima citati che ne incorniciano il territorio, Torino presenta anche un quarto corso d'acqua ovvero la Dora Riparia che taglia la città da ovest a est, scorrendo in prossimità del centro storico; Torino dista 57 km da Asti, 79 km da Vercelli, 84 km da Biella, 93 km da Alessandria, 96 km da Novara, 98 km da Cuneo, 100 km da Pavia, 155 km da Verbania. Il confine francese dista circa 70 km nei pressi del Colle del Moncenisio.

La metropoli subalpina colpisce per l'ordine geometrico delle sue strade, spesso fiancheggiate da portici, per la simmetria delle sue piazze monumentali, per l'omogeneità architettonica dei suoi palazzi e per la regolarità dei suoi lunghi viali; ciò conferisce alla città di Torino una conformazione territoriale ove si riscontra. Un tessuto territoriale ad alta densità edificatoria che si riscontra nello specifico sia nel centro urbano e nelle zone suburbane ove troviamo le zone residenziali caratterizzati da condomini e dalle zone industriali come nell'area meridionale di Torino ove troviamo, ad esempio, Mirafiori.

Questo aspetto caratteristico delle città metropolitane e che riscontriamo anche nella città di Torino si contrappone a diverse aree della città ove l'alta densità edificatoria caratterizzata da grandi spazi cementati ed edifici si contrappone a parchi e a spiazzi verdi che possano essere considerati come indice di mitigazione climatica; inoltre un altro aspetto significativo che caratterizza la città di Torino è la sua stretta vicinanza ai colli Piemontesi infatti il tessuto urbano della città si trova a ridosso dell'area collinare delimitato, come detto in precedenza, dal passaggio del fiume Po che funge come un vero e proprio confine naturale di questi due diverse morfologie.

In fine un altro aspetto che contraddistingue la città Piemontese e che funge anche come base della mia tesi è il clima che caratterizza questo territorio; infatti, Torino, appartiene alla fascia climatica Cfa ove si riscontra un clima temperato umido delle medie latitudini con estate calda (mediamente tra i 23° e i 30 e gli inverni risultano moderatamente freddi, asciutti e spesso soleggiati).

Durante la stagione invernale, la zona di Torino, così come buona parte del Piemonte occidentale di pianura e meridionale, è interessata dalla formazione del cosiddetto "cuscinetto freddo", a seguito di afflussi di masse d'aria continentali; grazie alla particolare conformazione orografica del catino padano occidentale, andando a resistere tenacemente ai venti miti che scorrono a quote medio-alte; molto diversa la situazione nelle numerose zone collinari e prealpine, spesso più calde delle pianure di parecchi gradi e quasi sempre prive di ristagni freddi.



*Fig.9 Immagine satellitare della città di Torino*



## 2. INDICI URBANI NELLA CITTA' DI TORINO

### 2.1 Indicatori Urbani

In conformità con quanto detto inerente le caratteristiche morfologiche di Torino sarà importante quantificare la forma del tessuto urbano della città e dare una quantificazione dei livelli di densità e copertura della città di Torino, inoltre fare in modo di distinguere zone urbane ove vi siano livelli alti di urbanizzazione rispetto alle zone confinanti della periferia torinese e quindi restringere il campo in quelle zone per cui, come già detto in precedenza, di zone per cui il tessuto urbano porta a variazioni più alte. Del clima rispetto alle zone urbane.

Dunque. Per andare ad individuare queste zone specifiche nella città e quindi fare una classificazione delle diverse zone in funzione della densità e della copertura edilizia e descrivendo la città nei suoi aspetti più caratteristici, ed in conformità delle sezioni di censimento quale sono le zone. Specifiche. Ove questi parametri sono più alti, per questo per svolgere questo studio sarà utile l'utilizzo del software Quantum GIS.

Inoltre, questa analisi vuole andare a dare una distinzione delle diverse tipologie di tessuto e le caratteristiche urbane che contraddistinguono le diverse zone della città di Torino ma anche i valori specifici che possono identificare le diverse intensità dell'edificato; per questo vi sono degli indicatori urbani che mi sono tati utili al riguardo; per quanto riguarda la densità edificatoria verranno calcolati la BD e BCR

Per poter svolgere il calcolo della BD e BCR saranno necessari i valori delle aree e volumetrie degli edifici di Torino forniti dai file raster DSM ove si riporta i diversi livelli di altitudine. Sia di suolo che degli edifici e vegetazione; una volta importati suddetti dati all'interno del Software Quantum GIS ove sarà possibile introdurre suddette informazioni negli attributi delle sezioni di censimento di Torino e dunque avere dei valori di densità e copertura per zone specifiche.

Questo studio, dunque, oltre a svolgere un inquadramento inerente e caratteristiche morfologiche della città di Torino sarà utile per poter svolgere una prima analisi iniziale inerente al clima, infatti è rilevante come maggiore è il livello della densità urbana maggiore saranno le possibilità per cui saranno presenti livelli più alti di temperatura e quindi differenze significative tra le zone urbane e quelle suburbane riducendo le aree ove svolgere studi climatici più approfonditi e avere già dei fattori iniziali confrontabili con le prossime analisi che svolgero per quantificare il fenomeno delle UHI.

### 2.1.1 BCR

La Building Coverage Ratio o semplicemente BCR misurato in  $m^2/m^2$  va a definire il rapporto tra l'area ove è situata l'impronta dell'edificio e la sua superficie di riferimento che in questo caso è la sezione di censimento, il calcolo di questo indice può variare da zero (0) a uno (1), ove zero (0) va a determinare quelle aree che sono totalmente libere o addirittura non edificate, invece le zone che presentano valori pari a uno (1) identificano zone ove il suolo è totalmente coperto, la formula per il calcolo della BCR è:

$$BCR = \Sigma (\text{Area Edifici})/\text{Area Sezioni}$$

### 2.1.2 BD

La Building Density o semplicemente BD, misurato in  $m^3/m^2$ , è stato utile per poter descrivere la densità edificatoria nel territorio grazie al rapporto tra il volume totale degli edifici considerati e la sua superficie di riferimento, ed in questa casistica ricade sulla suddivisione che verrà usata su Quantum GIS ovvero le sezioni di censimento; una volta ottenuti i risultati della cartografia tematica i valori più alti andranno a sottolineare un contesto urbano molto denso, al contrario, i valori più bassi indicheranno un ambito poco denso ciò nonostante, per comprendere meglio il BD, sarà opportuno, confrontarlo con altri parametri, nello specifico quello più adeguato è l'indicatore urbano BCR, di seguito si riporta la formula del calcolo della BD e le cartografie tematiche di questi due indici:

$$BD = \Sigma (\text{Aree Volumi})/\text{Aree Sezioni}$$

# Building Converge Ratio - BCR



## Legenda

- Limiti comunali di Torino
- Limite di censimento

### BCR

- 0 - 0,036
- 0,036 - 0,061
- 0,061 - 0,091
- 0,091 - 0,149
- 0,149 - 3,607



# Building Density – BD



## Legenda

- Limite comunale di Torino
- Zone di censimento

### BCR

- 0 - 0,51
- 0,51 - 0,97
- 0,97 - 1,51
- 1,51 - 2,52
- 2,52 - 35



## 2.2 Considerazioni sugli indici BD e BCR

In conformità a queste analisi iniziali fatte riguardante l'andamento di densità e copertura del suolo della città di Torino si possono fare delle considerazioni significative andando a confrontare entrambi i risultati di questi due indicatori riguardanti la città di Torino tenendo conto come in primis questo studio serve per porre un confronto per vedere le differenze e gli elementi in comune che caratterizzano la morfologia urbana del territorio di Torino e in secondo luogo sarà utile anche per le mie analisi per individuare quelle zone della città in cui vi sono densità e copertura del suolo che possano essere interessanti per delle analisi per cui identificare possibili aree dove interi quartieri e zone urbane hanno creato degli ambienti per cui si generano condizioni climatiche problematiche.

È evidente da entrambe le cartografie come gli elementi in comune che si notano maggiormente in entrambe le cartografie tematiche della BCR e della BD che le zone ove vi si riscontra una densità edificatoria e copertura del suolo particolarmente elevata sono nello specifico il centro storico della città di Torino e scendendo verso sud andando verso la zona industriale di Mirafiori molto chiare le motivazioni per cui suddette aree presentano valori motivati da un'alta densità edificatoria con palazzi storici per quanto riguarda l'area del centro storico e la zona del centro sud a ridosso del fiume Po e del parco del Valentino e invece un'evidente presenza di fabbricati industriali nell'area di Mirafiori.

Per questo si nota dalle due cartografie tematiche che si notano delle vaste aree con valori che si avvicinano ai 3,6 per quanto riguarda la BCR e vicino ai 35 per quanto riguarda la BD nelle aree della già citata Mirafiori che presenta una vasta area di censimento, come anche nel centro della città fino ai limiti del fiume Po ma si citano anche diverse zone periferiche della città ove si riscontrano zone per cui i livelli molto alti di BCR e zone ancor più vaste per quanto riguarda la BD.

Ciò che invece contraddistingue i risultati della BD rispetto alla BCR è che vi siano aree nella città di Torino ove la densità delle differenti aree di censimento siano significativamente inferiori rispetto alla copertura urbana della città; per questo si può notare come vi sono diverse sezioni di censimento della zona periferica della città di Torino che presentano valori che vanno oltre i minimi di 0,0 e 0,0036 della BCR che al contrario a livello di densità mantengono valori minimi di 0,0 – 0,61 della BD denotando, per quanto riguarda quest'ultima, valori considerevolmente omogenei anche come si vede dalla cartografia della BD, questo aspetto che, denota molte più zone. Con valori bassi per quanto riguarda la BD rispetto alla BCR è legato all'altezza degli edifici che. Da come si può vedere se si prende in esame i dati dei file DSM di Torino l'edificato della

città presenta un'altezza media dei fabbricati che non va oltre i 36 metri di altezza facendo però eccezione ad alcuni edifici che vanno ben oltre i 100 metri di altezza.

È dunque ben chiaro dai valori della BCR e della BD che la città di Torino si sviluppa principalmente in lunghezza al contrario che in altezza, è però ancora più chiaro che le zone, ove si rispecchia una densità edificatoria ove le volumetrie sono più significative nel centro della città ove si trovano diversi palazzi a ridosso l'uno con l'altro, infatti, si delinea come i valori tipo che vanno da 1,52 fino a 35 per quanto riguarda la BD e invece da 0,091 a 3,607 per quanto riguarda la BCR; allontanandosi dal centro della città possiamo notare che la densità inizia a calare drasticamente molto prima rispetto all'area di copertura, ciò è legato al fatto che andando verso la periferia si trovano zone, principalmente a est e a nord-est ove sono stati costruiti molti edifici a ridosso con l'altro, come case residenziali o fabbricati industriali, ma in relazione ai valori si riducono le altezze dei fabbricati progressivamente oppure suddette altezze, in certe zone vengono mantenute o addirittura superate, però a motivare questo aspetto si riconoscono tipologie di fabbricati di tipo residenziale popolare ove sono distanti l'uno dall'altro separati da vasti spiazzi verdi o cementati tipo parcheggi che quindi ha determinato valori maggiori della BCR rispetto a quelli della BD

Queste zone periferiche presentano valori bassi che vanno da 0 fino a 0,0061 con alcune eccezioni di 0,092 per quanto riguarda la BCR e invece valori omogenei di 0-0,51 per quanto la BD; infatti, in relazione a questi risultati ho ritenuto come in relazione agli indici della BCR e della BD le zone ad alta densità urbana come il centro della città di Torino o le aree periferiche industriali sono ritenibili più utili e di valore quelle sezioni di censimento per cui si riscontrano valori superiori a 0,149 per quanto riguarda la BCR ed al contrario ben oltre i 2,52 per la BD, e come vedremo poi nell'analisi successiva inerente la LST dimostrerà come queste aree per cui in relazione alla morfologia e alla loro posizione andrà ad influenzare su questa variante



### 3 ANALISI TERRITORIALE PER IDENTIFICARE LE ISOLE DI CALORE

#### 3.1 Calcolo della NDVI e LST

In conformità a quanto detto inerente gl'indicatori urbani BCR BD in questa prima fase si è voluto svolgere uno studio a scala territoriale non soffermandosi univocamente ai limiti della città di Torino ma allargandosi alle aree limitrofe inquadrando anche parte della città Metropolitana di Torino e dunque anche parzialmente i centri abitati suburbani al di fuori dell'area urbana; questa considerazione a larga scala è stata scelta appositamente per poter dunque andare a porre una distinzione tra le aree urbanizzate ed ove vi sono presenti aree verdi e poi dunque rilevare le aree ove sono presenti criticità per cui sia non solo necessario svolgere analisi approfondite ma anche possibili interventi; per questo i primi due indicatori che andremo a calcolare sono la NDVI e la LST.

Il primo indice NDVI che costituisce l'abbreviazione di "Indice Normalizzato di Vegetazione" esso descrive il livello di vigoria della vegetazione presente e si calcola come il rapporto tra la differenza e la somma delle radiazioni riflesse nel vicino infrarosso e nel rosso; gli indici di vegetazione possono essere calcolati a partire da dati rilevati da satellite o drone, nello specifico i satelliti di uso più comune hanno intervalli di acquisizione regolari, ad esempio di 5 giorni per quanto riguarda il Sentinel 2 e tempi addirittura più lunghi fino a 16 giorni per il Landsat 8 da ciò si può dedurre che gli indici sono pertanto disponibili per più date nella stessa stagione.

Dunque, l'NDVI è un indice semplice da interpretare i valori possono variare tra -1 e 1, ma quelli compresi tra -1 e 0 sono tipici di aree non coltivate come corsi d'acqua e zone antropiche; invece, in zone come campi coltivati i valori variano tra 0 e 1 e a ciascun valore corrisponde una diversa situazione agronomica, indipendentemente dal territorio in cui si trova, di seguito si riporta la classificazione delle diverse categorie di valori di NDVI in base alle caratteristiche del territorio:

NDVI	INTERPRETAZIONE IN BASE AL TERRITORIO
<0.1	Suolo nudo

<b>0.1 - 0.2</b>	Copertura vegetale quasi assente
<b>0.2 - 0.3</b>	Copertura vegetale molto bassa
<b>0.3 - 0.4</b>	Copertura vegetale bassa con vigoria bassa o copertura vegetale molto bassa con vigoria alta
<b>0.4 - 0.5</b>	Copertura vegetale medio-bassa con vigoria bassa o copertura vegetale molto bassa con vigoria alta
<b>0.5 - 0.6</b>	Copertura vegetale media con vigoria bassa o copertura vegetale medio bassa con vigoria alta
<b>0.6 - 0.7</b>	Copertura vegetale medio alta con vigoria bassa o copertura vegetale media con vigoria alta
<b>0.7 - 0.8</b>	Copertura vegetale alta con vigoria alta
<b>0.8 - 0.9</b>	Copertura vegetale molto alta con vigoria molto alta
<b>0.9 - 1.0</b>	Copertura vegetale totale con vigoria molto alta

Invece la Land Surface Temperature o LST è quanto calda si sentirebbe la "superficie" della Terra al tatto in una particolare posizione, nello specifico dal punto di vista di un satellite, la "superficie" è ciò che vede quando guarda attraverso l'atmosfera verso il suolo potrebbe essere neve e ghiaccio, l'erba di un prato, il tetto di un edificio o le foglie nella chioma di una foresta; i valori della temperatura della superficie terrestre va ad influenzare il calore che sale dai diversi tessuti territoriali della Terra influenza ed è possibile monitorarli sia tramite i modelli meteorologici e climatici che dai sistemi satellitari tramite l'acquisizione di immagini, anche in questo caso entro periodi brevi o lunghi, questa tipologia di indicatore prevede anche la possibilità di rilevare l'aumento dei gas serra atmosferici influisce sulla temperatura della superficie terrestre e in che modo l'aumento della temperatura della superficie terrestre influenza i ghiacciai, le calotte glaciali, il permafrost e la vegetazione negli ecosistemi terrestri.

Dunque per svolgere il calcolo di questi due primi indici saranno fondamentali due strumenti fondamentali ovvero Quantum GIS e le immagini satellitari derivati dal portale Earth Explorer ove

vengono catalogate per diversi periodi le immagini satellitari derivati dal satellite NASA Landsat 8-9; infatti dall'azione di rilevamento è possibile ottenere una serie di immagini o bande catturate dal satellite e suddivisibile bande del visibile, del vicino infrarosso e dell'infrarosso a onde corte. Dunque suddette bande vengono implementate e lette all'interno del software Quantum GIS e che premetterà di svolgere i calcoli necessari per determinare la NDVI e la LST tramite l'utilizzo del tools presente all'interno del software denominato come "calcolatore raster", il primo calcolo che si andrà a svolgere è la riflettenza massima dell'atmosfera (TOA) ed è considerata la riflettenza misurata da un sensore spaziale che vola oltre l'atmosfera terrestre che possono essere influenzati da fenomeni atmosferici, nubi, gas e aerosol; tramite questo fattore è possibile trasformare la radianza spettrale TOA i numeri delle bande digitali infrarossi:

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AI - O_i$$

$L\lambda$  = Radianza spettrale TOA [Watts/(m<sup>2</sup>+sr+μm)]

ML = Radianza moltiplicativa della Banda No. 10

Qcal = Valori dei pixel standard del prodotto quantizzati e calibrati

AI = Radianza additiva dalla Banda No. 10

O<sub>i</sub> = Valore di correzione della Banda No. 10 pari a 0,29

Una volta determinato questo primo valore  $L\lambda$  di radianza spettrale TOA sarà utile per lo step successivo per il calcolo della temperatura della luminosità massima dell'atmosfera, ove è possibile convertire i dati di radianza spettrale in valori di temperatura grazie anche ai parametri termici costanti presenti all'interno dei metadati delle diverse bande rilevati dallo scanning dei satelliti Landsat 8, di seguito è riportata la formula per il calcolo della temperatura superiore alla luminosità dell'atmosfera considerando anche la conversione da Gradi Kelvin (K°) a gradi Celsius (C°):

$$BT = K_2 / \ln(K_1 / L\lambda + 1) - 273,15$$

BT = temperatura superiore alla luminosità dell'atmosfera (C°)

$L\lambda$  = radianza spettrale TOA [Watts/(m<sup>2</sup>+sr+μm)]

Ln = logaritmo naturale

K1 = Valore della costante presente nei dati della Banda No. 10

K2 = Valore della costante presente nei dati della Banda No. 10

Come detto in precedenza durante questi step è, appunto, previsto il calcolo della NDVI che oltre essere un indice e valore per determinare il livello di vegetazione presente all'interno del tessuto territoriale permette anche di calcolare in dato fondamentale della LST ovvero l'emissività ; per poter svolgere il calcolo della NDVI non verranno usate come in precedenza la Banda 10 ma al contrario la Banda No. 4 e la Banda No. 5 che corrispondono rispettivamente ai valori DN della Banda Rossi e i valori DN della Banda vicino infrarossi:

$$NDVI = (NIR-RED)/(NIR+RED)$$

RED = Valori DN della banda Rossi (Banda No. 4)

NIR = Valori DN della banda vicino infra-rossi (Banda No. 5)

Successivamente dal calcolo della NDVI si va ricavare i valori della proporzione di vegetazione che permetterà dunque di calcolare successivamente l'emissività media delle diverse zone ove è presente o no verde, per svolgere suddetto calcolo sarà importante l'utilizzo dei valori medi, massimi e minimi della NDVI:

$$PV = ((NDVI-NDVlmin)/(NDVlmax-NDVI))^2$$

PV = proporzione di vegetazione

NDVI = valori DN dell'immagine NDVI

NDVlmin = valore DN minimo dell'immagine NDVI

NDVlmax = valore DN massimo dell'immagine NDVI

Una volta determinato il suddetto valore è possibile calcolare l'emissività ed è la frazione di energia irraggiata da quel materiale rispetto all'energia irraggiata da un corpo nero che sia alla stessa identica temperatura; da ciò deriva che possiamo trovare diverse tipologie di materiali che

irraggiano calore un esempio chiaro sono le superfici dei corpi neri con valori  $\epsilon = 1$  al contrario le superfici normali hanno valori che corrispondono a  $0 < \epsilon < 1$ .

$$E = 0,004 * PV + 0,986$$

E = Land Surface Emissivity

PV = proporzione di vegetazione

0,986 = corrisponde al valore di correzione dell'equazione

Da questo calcolo finale si può andare a svolgere l'ultimo step ovvero il calcolo della LST ove sarà importante riprendere i valori che si determinano in precedenza della E dell'emissività e la BT ovvero la temperatura superiore alla luminosità dell'atmosfera ( $C^\circ$ ) convertita da gradi Kelvin in gradi Celsius:

$$LST = BT / ((1 + \lambda * BT / c^2) * LnE)$$

LST = Land Surface Temperature

BT = temperatura superiore alla luminosità dell'atmosfera ( $C^\circ$ )

$\lambda$  = lunghezza d'onda della radianza emessa ( per la banda No. 10 ha valore 10,8 e per la banda No. 11 ha valore 11,2)

E = emissività

$C2 = h * c / s = 1,4388 * 10^{-2} \text{mk} = 14388 \text{mk}$

h = costante di Plank =  $6,626 * 10^{-34} \text{Js}$

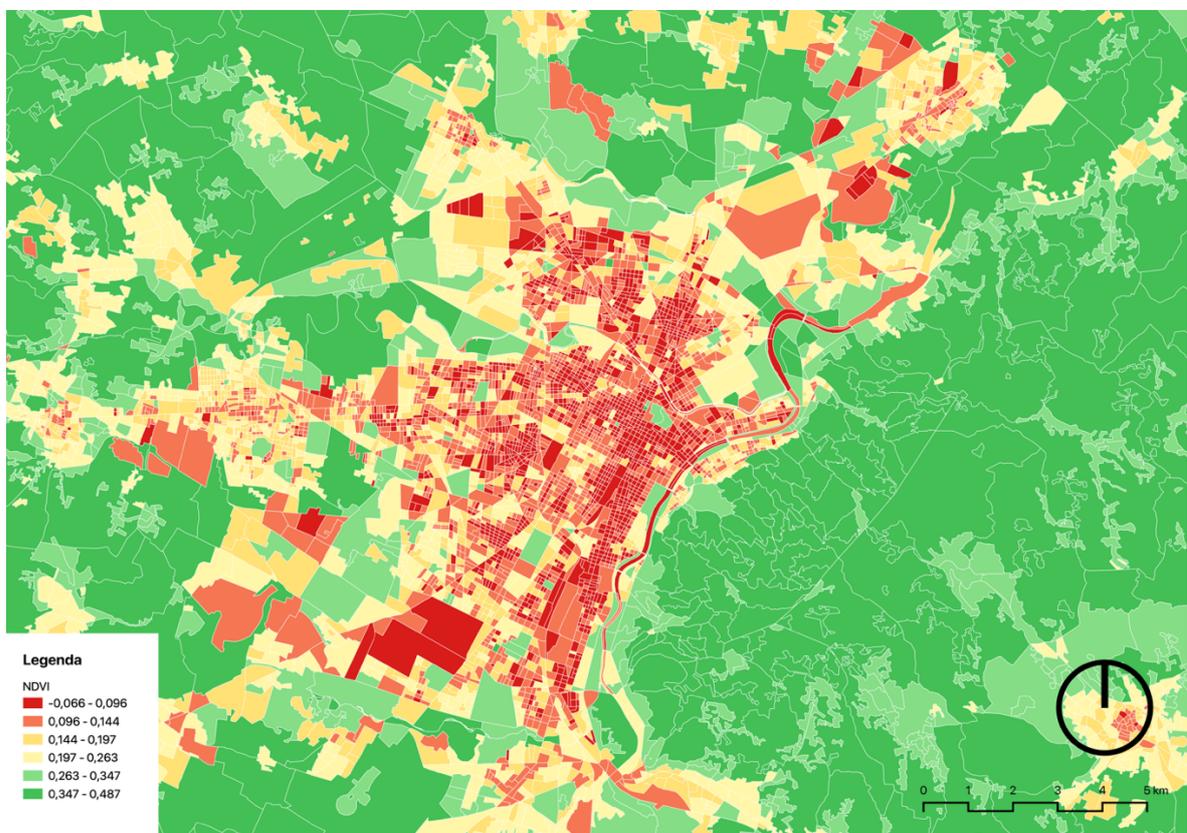
c = velocità della luce =  $2,998 * 10^8 \text{m/s}$

s = costante di Boltzmann =  $1,38 * 10^{-23} \text{JK}$

Da questa serie di calcoli inseriti all'interno del tools "calcolatore raster" è possibile rilevare una cartografia ove si rilevano i valori minimi medi e massimi della NDVI e della LST del territorio della città metropolitana di Torino, ancora maggiormente nel dettaglio i valori ricavati sono stati implementati all'interno di un file shape ove si evidenziano suddetti dati per le diverse zone di censimento del territorio piemontese; nello specifico questa suddivisione per censimento sarà utile nello studio della LST infatti in considerazione di aver preso in esame tre periodi di

riferimento per svolgere questa analisi, ovvero l'11/01/2021, il 14/08/2021 e il 01/08/2022, è possibile vedere e constatare in maniera chiara le variazioni di temperatura della LST nel territorio e nello specifico constatare dove si forma il fenomeno delle isole di calore urbane infatti l'utilizzo della suddivisione in zone di censimento mi viene in aiuto per avere un inquadramento territoriale sintetico è chiare su dove sono posizionate, la stessa metodologia è stata applicata per la NDVI e dunque distinguere i diversi gradi di vegetazione che troviamo nel territorio.

### 3.1.1 NDVI



*Fig.10 Cartografia rappresentante la NDVI del territorio della città metropolitana di Torino*

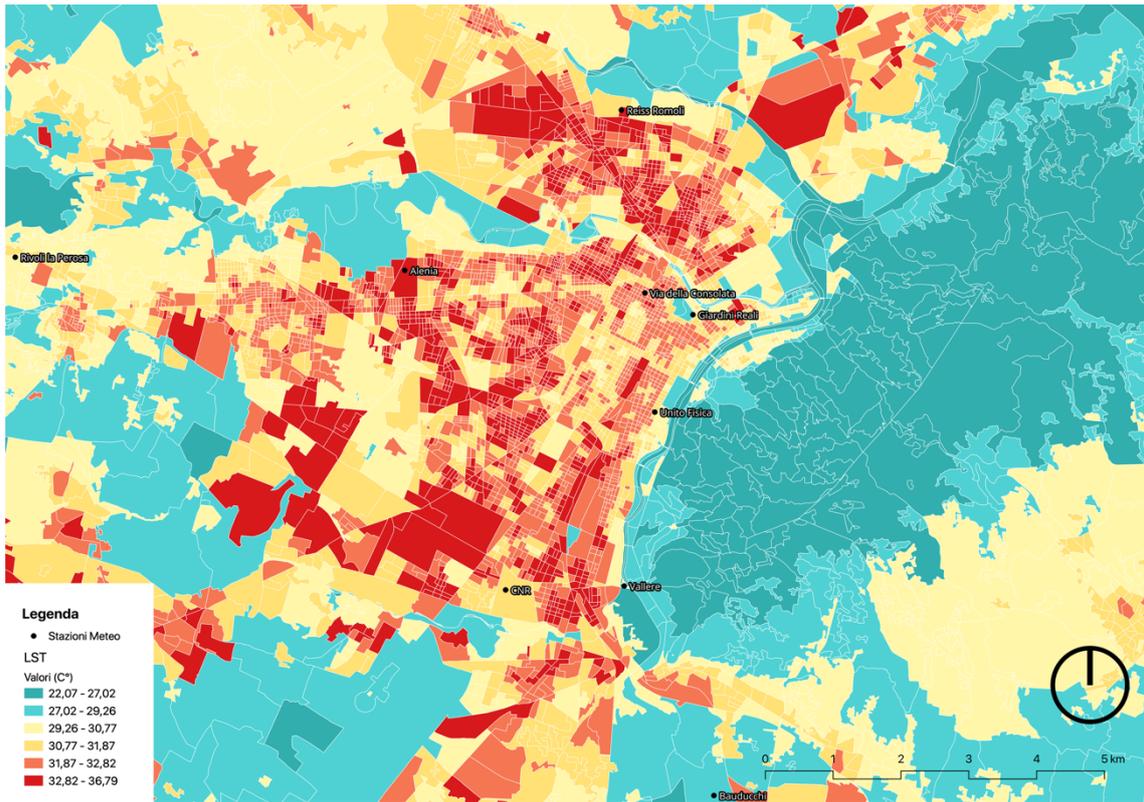
Dal risultato della NDVI ove i valori sono determinati all'interno di una maglia 100x100 e poi suddivisi per sezioni di censimento si può delineare come si delinea in maniera chiara i diversi tessuti territoriali presenti nel nell'area del comune torinese e di come è ben chiara la distinzione tra aree con alta presenza di verde e quelle considerabili insediativi ove vi sono diversi gradi di densità edificatoria come già visto nelle analisi degli indici BCR e BD; si declina come le aree verdi siano in maniera chiara molto omogenee per quanto riguarda la loro morfologia, in particolare si

nota una grossa porzione di territorio identificata come la zona collinare adiacente a nord-est del tessuto urbano di Torino, per quanto riguarda i loro valori generali si riscontra un andamento che va da un minimo di 0,283 fino un massimo di 0,487 identificabile dunque come Copertura vegetale bassa con vigoria bassa o copertura vegetale molto bassa con vigoria alta.

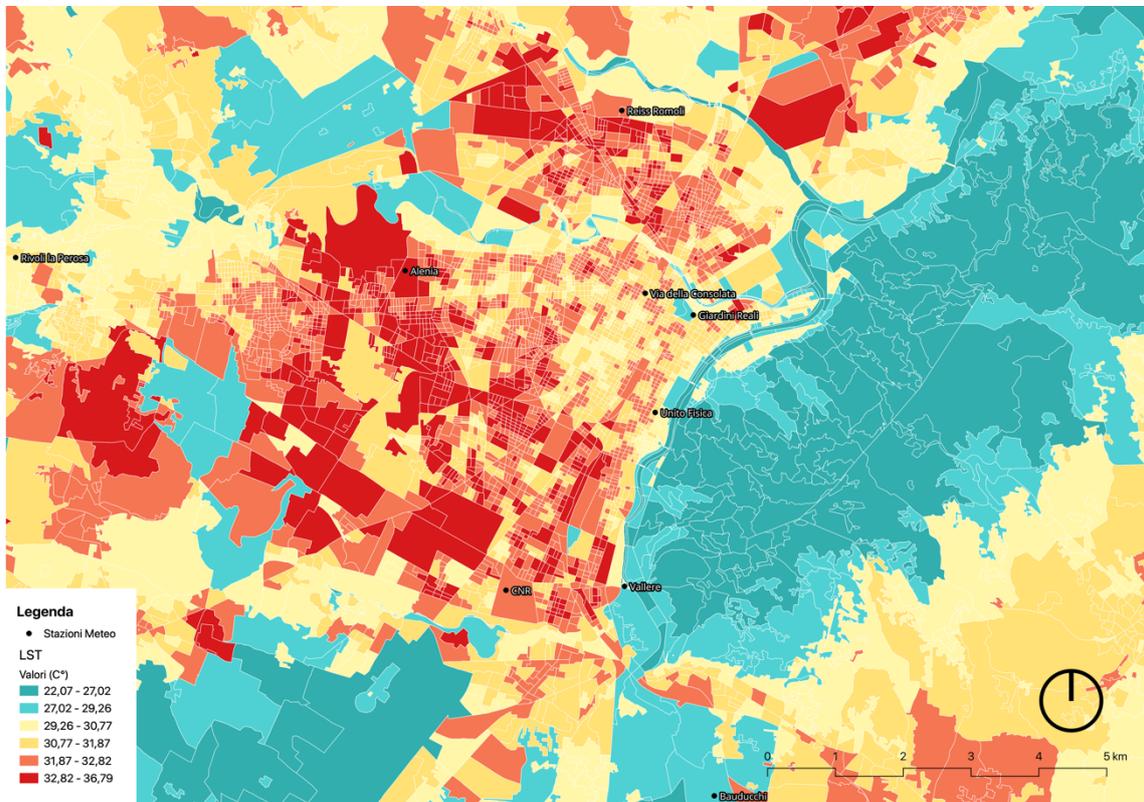
Al contrario per quanto riguarda le zone urbane si delineano valori di vegetazione molto bassa e per come classifica i valori la NDVI si declinano una maggioranza delle zone di censimento ove la vegetazione è praticamente assente; addirittura la stessa città di Torino presenta una vasta parte di territorio urbano ove si riscontra questa classificazione ove si trovano alcune zone con valori che quantomeno si abbassano tra i 0,1 e 0,2 ma che comunque non possono essere considerate come un grande miglioramento visto che questi valori identificano zone ove la vegetazione è quasi assente, suddetta zone si può individuare dal centro storico della città ove è caratterizzata da strade asfaltate e nuclei edilizi ad alta densità, fino a raggiungere le zone industriali di Mirafiori ove anche in questo caso si riscontra la presenza significativa di spiazzi cementati e fabbricati industriali.

Si possono porre delle eccezioni all'interno del tessuto urbano ove si riscontra come vi sono delle vaste aree verdi all'intero della città identificabili come parchi che possono essere considerati come dei polmoni verdi per la mitigazione di questo fenomeno e sono rispettivamente i Giardini Reali, il Parco del Valentino e il Parco Cavalieri di Vittorio Veneto "Piazza d'Armi"; inoltre se consideriamo quanto detto nel capitolo precedente si riscontra come i valori ottenuti dalla NDVI possono essere relazionati a quelli ottenuti dalla BD e dalla BCR e di come la riduzione della NDVI e quindi valori inferiori a 0,096 classificati come aree caratterizzate da "Suolo Nudo" ed individuabile in zone con copertura non troppo elevata di verde in zone del centro di Torino estendendosi fino ai limiti della periferia della città, decretando come vi sono livelli considerevolmente alti di densità e come vedremo nei risultati della LST porterà a delle conseguenze climatiche in diverse zone della città torinese.





LST 01/08/2022



I risultati di questo studio preliminare, valutati anch'essi all'interno di una griglia di 100x100m, sono incentrati sullo svolgere un inquadramento a scala territoriale prendendo come riferimento tre date in due anni differenti di cui due durante il periodo estivo ed una durante l'inverno, nello specifico le date selezionate sono l'11/01/2021, il 14/08/2021 e il 01/08/2022; come detto in precedenza la selezione delle date in due periodi differenti è servita per poter fare un confronto per visualizzare la variazione della LST e delle isole di calore urbane sia in positivo che in negativo andando ad individuare quelle aree ove il fenomeno è persistente o addirittura a portato a conseguenze negative tali che hanno generato condizioni per cui una vera e propria criticità all'interno del tessuto urbano.

Andando ad analizzare i diversi periodi ove ho voluto calcolare la LST si riscontra come il fenomeno delle isole di calore varia per le diverse sezioni di censimento, nello specifico è evidente nelle aree meridionali e nella periferia settentrionale della città di Torino, zone prevalentemente caratterizzate da centri industriali o comunque dove sono presenti fabbricati di grande dimensione di destinazione industriale e fabbriche; si denota inoltre come nelle zone ad alta densità urbana come quelli residenziali nei pressi della stazione e nel centro storico vi sia un abbassamento delle temperature della LST per cui il fenomeno delle isole di calore urbane non siano particolarmente evidente e dunque si denotino valori inferiori rispetto alle zone industriali. Ponendo un confronto di quanto detto si riscontra come i valori medi presenti nella zona meridionale di Torino mantenga sia in estate che in inverno valori identificabili negli standard elevati della temperatura ovvero tra i 36° e 38° nel periodo estivi tra il 2021 e il 2022 e tra i 0° nel periodo invernale, nello specifico si riscontra come durante il periodo estivo questo fenomeno tra il 2021 e il 2022 ha subito un incremento delle temperature superficiali di +2°; Nelle zone urbane troviamo la zona industriale ovvero Mirafiori, è soggetta a questo fenomeno anche in relazione al fatto che costituisce una vasta area industriale che. Se si tiene conto dei valori già ottenuti della BD e della BCR relativamente elevati e di conseguenza ne deriva come. La NDVI in questa frazione di Torino sia talmente bassa che ne deriva la totale assenza di verde urbano giustifica come in queste aree urbane i valori della LST media tra il 2021 e il 2022 di 32,82° e 33,12° con un rispettivo incremento dei valori di +0,3°.

Continuando ad approfondire il fenomeno della LST oltre alle zone periferiche si nota che questo fenomeno è particolarmente evidente anche nelle zone urbane centrali e in maniera evidente nei risultati calcolati nel periodo di riferimento del 11/01/2021 ove si denota come nel centro della città vi siano valori che vanno tra i -3,79° e i -2,85°, al contrario attorno a questa zona si riscontrano delle vaste aree di tessuto urbano in cui la temperatura superficiale si alza fino ai -2,1° e 0° e dunque un innalzamento di quasi +1° e per come è rappresentata può essere identificata come

una zona potenzialmente urbanizzate o addirittura le zone del centro urbano presentano vasti spiazzi realizzati in porfido o in pietra; d'altro canto si può aggiungere su questo studio che se osserviamo i valori ottenuti della LST nel complesso confrontando i valori ottenuti tra le Zone suburbane e quelle urbane si riscontra come un aspetto caratteristico evidente in tutte e tre le cartografie dei periodi di riferimento molte zone periferiche ove i valori di densità e copertura dovrebbero essere relativamente bassi al contrario si notano valori relativamente elevati della LST o addirittura sopra la media per cui mi ha portato a considerare questo aspetto come una criticità anche in conformità del fatto che dal 2021 al 2022 l'incremento delle zone gialle della LST, che variano dai 29°C e i 31°C, si sono espanse in molte sezioni di censimento e nello specifico troviamo come questo aspetto è evidente nella parte nord est della città metropolitana di Torino, riconducibile nello specifico alle diverse caratteristiche morfologiche presenti nel territorio ove le aree collinari e verdi sono influenzate dalla presenza di diverse infrastrutture stradali e impianti industriali, quindi zone influenzate dalla vicinanza a superfici realizzate tramite materiali scuri che costituiscono, per le loro caratteristiche, fattori negativi che influenzano sul clima e sulla temperatura di queste zone e addirittura da quello che abbiamo visto dalla LST nelle aree limitrofe ad essa.

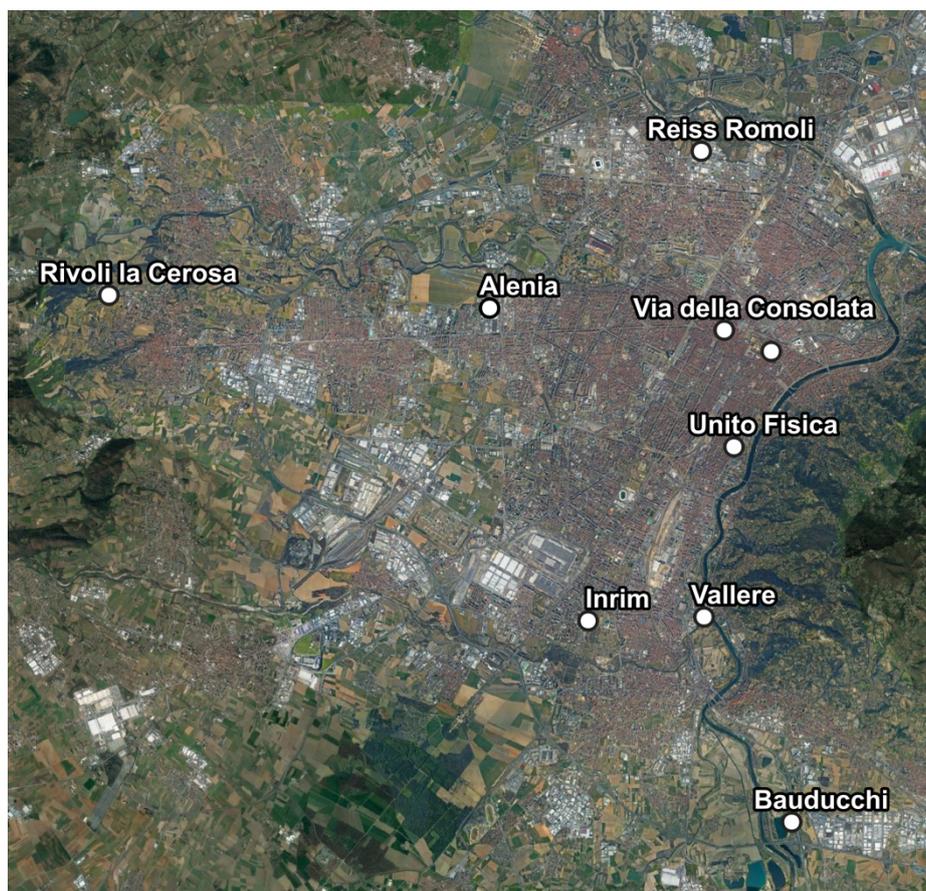
### **3.2 Confronto valori della LST rispetto alla temperatura dell'aria**

Per approfondire in maniera più dettagliata quanto detto in precedenza e per poter poi individuare ed inquadrare delle aree su cui svolgere delle analisi più approfondite e per poter puntualizzare ove si trovano le isole di calore e dunque poter svolgere delle considerazioni o interventi per poter mitigare questo fenomeno; infatti per individuare in maniera mirata le isole di calore ad una scala territoriale più ridotta sono state prese in esame le stazioni meteo della città metropolitana di Torino, andando oltre ai limiti di quelle presenti nella città in maniera tale di svolgere dei calcoli avanzati inerenti il livello di intensità delle isole di calore come la SUHII che vedremo nei prossimi capitoli.

Il sistema intricato delle stazioni meteo presenti nel comune di Torino mi ha permesso di campionare diverse temperature che si riscontrano in questo territorio e di come l'altitudine e la diversa morfologia dimostra diverse temperature nel territorio; d'altro canto, la selezione delle stazioni meteo non avviene casualmente; dunque, è necessario che vengano scelte in relazione a caratteristiche morfologiche specifiche, un chiaro esempio è che zone ove vi sia un'alta percentuale di verde non possa essere considerata come ottimale per svolgere questa tipologia di studio anche perché difficilmente si possa riscontrare questo fenomeno e non è

particolarmente utile per un confronto con zone urbane ove è possibile il verificarsi di questo fenomeno.

Per questo, in conformità a quanto detto in precedenza le aree considerabili come idonee per questo studio sono ricadute su quelle stazioni meteo situate in zone suburbane ed urbane ove sono presenti caratteristiche morfologiche per cui non vi siano percentuali significativamente elevate di aree verdi e dunque è importante come ci siano dei nuclei edilizi o abitati, per questo le stazioni meteo selezionate sono state otto e nello specifico sono: Alenia, Via della Consolata, Reiss Romoli, Università di Fisica, Inrim, Bauducchi, Rivoli la Cerosa, Giardini Reali e Vallere; di seguito in conformità ai tre periodi di riferimento sono stati presi i valori della temperatura dell'aria medi, massimi e minimi delle otto stazioni meteo:



*Fig.10 inquadramento delle stazioni meteo di riferimento*

Valori meteorologici del 11/01/2021

Stazione Meteo	11/01/21		
	Tmin	Tmax	Tmean daily
Stazione Torino Alenia	-3,7	4,2	-0,3
Bauducchi	-4,9	3,3	-1,8
Stazione Torino Giardini Reali	-4,8	4,8	-1,3
Stazione Inrim	-2,6	5,5	0,87
Stazione Reiss Romoli	-4,5	4,4	-0,6
Rivoli Cerosa	-5,7	3,8	-1,4
Universita di Torino Fisica	-2,6	5,8	0,5
Stazione Vallere	-4,5	4,2	-1
Stazione via della Consolata	-1,8	3,3	0,4

Valori meteorologici del 14/08/2021

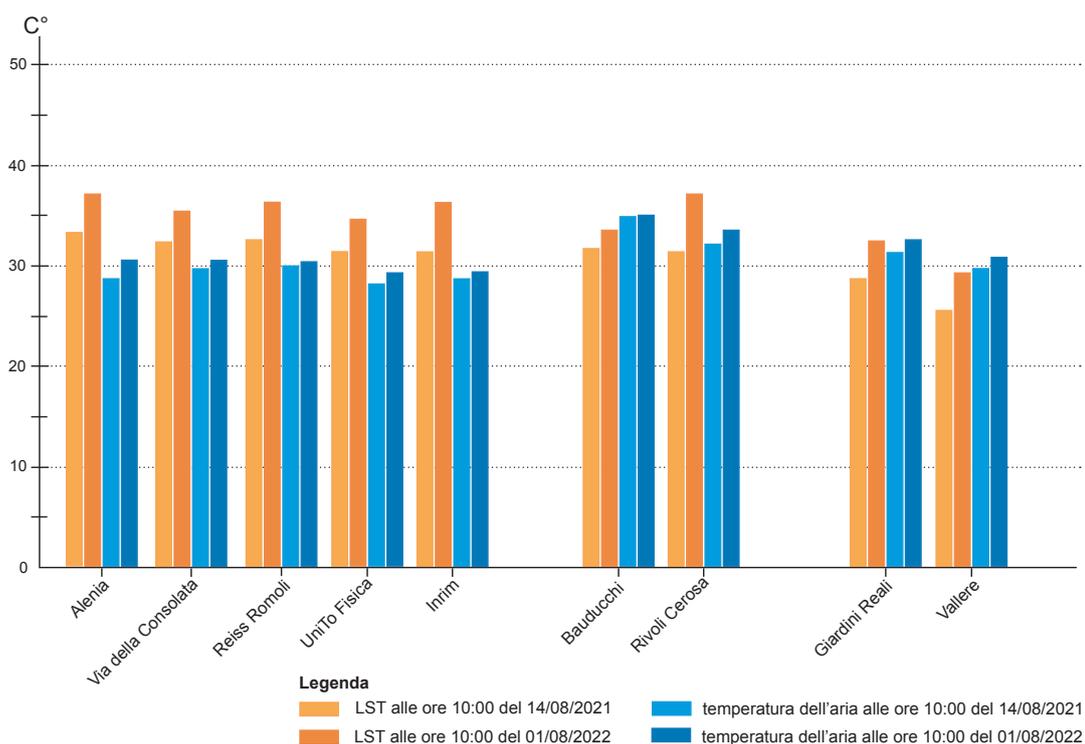
Stazione Meteo	14/08/21		
	Tmin	Tmax	Tmean daily
Stazione Torino Alenia	21,8	34	27,9
Bauducchi	18,3	35,1	26,2
Stazione Torino Giardini Reali	19,8	34,9	27,2
Stazione Inrim	21,1	35,5	27,3
Stazione Reiss Romoli	21,8	33,3	27,8
Rivoli Cerosa	20,7	33,2	27,8
Universita di Torino Fisica	22,6	35,2	28,6
Stazione Vallere	20,1	33,7	26,9
Stazione via della Consolata	23,3	33,8	28,6

Valori meteorologici del 01/08/2022

Stazione Meteo	01/08/22		
	Tmin	Tmax	Tmean daily
Stazione Torino Alenia	21,2	34	28,2
Bauducchi	17,1	35,4	26,8
Stazione Torino Giardini Reali	20,1	35,7	28,4
Stazione Inrim	20,1	36,2	29
Stazione Reiss Romoli	20,5	34,5	28,1
Rivoli Cerosa	19,7	34,4	28,5
Universita di Torino Fisica	22	35,7	28,8
Stazione Vallere	18,6	35,4	27,5
Stazione via della Consolata	23	35	28,9

Un altro studio puntuale svolto grazie all'utilizzo delle stazioni meteo è stato quello di utilizzarle come dei punti di interesse per poter integrare i valori della LST e per poter dunque confrontarli con quelli della temperatura dell'aria; suddetto confronto è utile per poter classificare le stazioni meteo e poter poi individuare una stazione meteo considerata come "suburbana", ovvero situata nella periferia della città, e quindi considerata come stazione di riferimento per il calcolo degli indicatori di intensità delle isole di calore; per questo è stato significativo confrontare i valori della LST e della temperatura dell'aria in relazione ai due periodi di riferimento estivo del 14/08/2021 e 01/08/2022:

**Confronto valori LST e temperatura dell'aria durante i periodi estivi del 2021 e 2022**



Da questa tabella e dunque dal confronto della temperatura dell'aria e della LST si evidenzia come si possa distinguere tre gruppi di categorie individuabili in relazione alle caratteristiche del territorio ovvero: un primo gruppo composto da Alenia, Via della Consolata, Reiss Romoli, Università di Fisica e Inrim, un secondo gruppo composto da Bauducchi e Rivoli la Cerosa ed in fine un ultimo gruppo composto da Giardini Reali e Vallere; nello specifico il primo gruppo è dove si identificano la maggioranza delle stazioni meteo selezionate presentano caratteristiche comuni legate alla loro posizione nel centro urbano della città di Torino con scarsa presenza di aree verdi, mentre il secondo gruppo si identificano zone urbane della città che al contrario sono posizionate in stretta vicinanza con aree verdi o parchi, in fine l'ultimo gruppo identifica delle stazioni meteo posizionate in zone suburbane ove sono presenti fabbricati edilizi.

Entrando nello specifico nell'analizzare questi gruppi possiamo notare come il primo composto da Alenia, Via della Consolata, Reiss Romoli, Università di Fisica e Inrim presentano valori, per quanto riguarda la temperatura dell'aria e la LST, sono praticamente omogenee e di per se non denota variazioni significative da una stazione meteo e l'altra probabilmente motivata dalle caratteristiche eterogenee della morfologia presente nella città di Torino ove sono posizionate le differenti stazioni meteo; nel dettaglio analizzando i valori per periodo come i valori del 2022

sono considerevolmente più alti rispetto al 2021 denotando l'incremento delle temperature della superficie e dell'aria nel 2022, in particolare come questo incremento di temperatura è particolarmente evidente per quanto riguarda la temperatura della LST constatato dal fatto che c'è un incremento di media di +3,5° a discapito della temperatura dell'aria che ha subito un incremento molto ridotto ovvero di +0,8°, tra queste prime cinque stazioni chi ha subito un incremento veramente significativo della temperatura superficiale della LST è la stazione di Inrim con un aumento della LST di quasi +5° raggiungendo i 38° riconducibile nello specifico alle caratteristiche urbane della città di Torino e prendendo la stazione di Inrim che nonostante la posizione in un'area verde è influenzata da fattori legati all'orientamento e al contesto industriale in cui è inserita. La porta ad avere valori più alti rispetto alle altre stazioni più centrali.

Al contrario si nota come dal punto di vista della temperatura dell'aria si può dire che la stazione meteo per cui ho riscontrato un aumento della temperatura dell'aria maggiore rispetto alle altre è la stazione di Alenia ove c'è un aumento di +1,5°C rispetto al 2021 raggiungendo i valori di 32°C, suddetti valori della temperatura dell'aria è legato all'alta densità edificatoria e si denota come, nonostante la presenza di aree verdi e parchi, il clima ha subito una drastica variazione con il conseguente aumento della temperatura in particolare portando anche un incremento del rilascio di calore delle superfici; per quanto riguarda il secondo gruppo si denota come anche in questo caso ci troviamo di fronte a due stazioni meteo situate in centri edificati o comunque zone edificate con densità inferiore a quella dei centri urbani di Torino e dunque classificati come suburbani.

Infatti, si nota come entrambe le stazioni meteo di Bauducchi e Rivoli la Ceresa denotano caratteristiche per cui, come detto in precedenza, non si discostano troppo da quelli delle zone urbane, si può osservare che l'andamento del grafico della stazione Rivoli la Ceresa è molto simile alle stazioni delle zone urbane; al contrario la stazione di Bauducchi presenta valori completamente diversi rispetto a Rivoli la Ceresa, si nota come i valori per quanto riguarda sia la temperatura dell'aria che della LST sono molto omogenei non per questo suddetto aspetto vuol dire che sia un aspetto positivo a causa del fatto che comunque vi è stato un parziale peggioramento dei valori, per quanto riguarda la temperatura dell'aria, invece la differenza tra il 2021 e il 2022 sono molto ridotti per quanto riguarda la LST ovvero di +1,5°, inoltre la temperatura dell'aria, per quanto riguarda Bauducchi, è molto più alta rispetto alla temperatura superficiale della LST sia nel 2021 che nel 2022.

In fine troviamo l'ultimo gruppo di stazioni Meteo ove troviamo le stazioni meteo di Vallere e Giardini Reali che nonostante la loro posizione rispettivamente in periferia si può trovare una differenza per cui sia evidente la differenza di risultati tra la temperatura dell'aria e quella della LST: infatti troviamo come per quanto riguarda Vallere è posizionata nella periferia urbana e al

contrario per quanto riguarda Giardini Reali è posizionata nel centro della città, però sono entrambi accumulati dalla caratteristica di vaste aree verdi da cui ne consegue che la temperatura superficiale sia considerevolmente basso e per questo che girano tra i 25° e 28° nel 2021 e di 32° e 29° nel 2022; questi valori se paragonati alle altre stazioni sono molto più bassi e dunque riconducibile alla bassa presenza di edificato, questo aspetto porta dunque ad avere valori della LST inferiori rispetto alla temperatura dell'aria anche se sono pressoché identici rispetto a quelli delle altre stazioni, d'altro canto in relazione al posizionamento di queste due stazioni si denota come, nonostante siano entrambe relativamente verdi e vaste, il posizionamento dei giardini reali nel centro urbano ha portato ad avere valori della LST e della Tair molto più alti rispetto a Vallere posizionata in periferia ove solo parzialmente è circondata ed influenzata da edificato.

Questa analisi puntuale delle stazioni mi ha permesso di individuare le possibili stazioni che saranno prese come riferimento per poter svolgere il calcolo dell'indice di intensità delle UHI, e per questo suddetta scelta è ricaduta sulle due stazioni delle aree suburbane ovvero le stazioni meteo di Bauducchi e Rivoli la Cerosa, in particolare per le caratteristiche territoriali che identificano queste aree del territorio, nei prossimi capitoli verranno svolti dei calcoli di indici che mi hanno permesso di individuare con sicurezza quale poteva essere la stazione di riferimento per il calcolo degli indicatori di intensità delle UHI ed addirittura dei Canyon Urbani.

### **3.3 Albedo**

La Albedo superficiale è la frazione di luce solare che viene diffusamente riflessa da un corpo può essere misurata su una scala da 0, corrispondente a un corpo nero che assorbe tutta la radiazione incidente, a 1 corrispondente a un corpo che riflette tutta la radiazione incidente.

La albedo superficiale è definita dal rapporto tra la radiosità e l'irraggiamento ricevuto da una superficie, la proporzione riflessa non è solo determinata dalle proprietà della superficie stessa, ma anche dalla distribuzione spettrale e angolare della radiazione solare che raggiunge la superficie terrestre; questi fattori variano con la composizione atmosferica, la posizione geografica e il tempo; per questo se si va a considerare le differenze dei diversi materiali si può constatare come più una superficie è riflettente, più alto è il valore dell'albedo, le superfici molto bianche, come la neve fresca, riflettono nello spazio una frazione molto elevata della radiazione in entrata. Le superfici più scure come l'acqua, le foreste o l'asfalto hanno un'albedo molto più basso e viene assorbita una quantità maggiore di energia solare.

Le cavità profondamente ombreggiate possono ottenere un albedo efficace che si avvicina allo zero di un corpo nero. Se vista da lontano, la superficie dell'oceano ha un albedo basso, mentre le aree desertiche hanno alcuni dei più alti albedo tra le morfologie del terreno, la maggior parte delle aree terrestri si trova in un intervallo di albedo compreso tra 0,1 e 0,4 e quello medio della Terra è di circa 0,3 questo è molto più alto che per l'oceano principalmente a causa del contributo delle nuvole.

Per questo La neve appena caduta e le superfici di materiali chiari riflettono molto bene la radiazione solare in arrivo e quindi ha un'elevata albedo, la neve fresca ha tipicamente un albedo compreso tra 0,96 e 0,98 nella gamma visibile e quasi 0,8 in media sull'intero spettro di lunghezze d'onda Warren, 1982., questi valori particolarmente elevati dell'albedo sono dovuti all'SSA inizialmente elevato della neve.

Tipologia di Suolo	Coefficiente di Riflessione
Neve	0.75
Superfici acquose	0.07
Suolo (creta, marne)	0.14
Strade sterrate	0.04
Bosco di conifere d'inverno	0.07
Bosco in autunno – Campi con raccolti maturi e piante	0.26
Asfalto invecchiato	0.10
Calcestruzzo invecchiato	0.22
Foglie morte	0.30
Erba secca	0.20
Erba verde	0.26
Tetti o terrazze in bitume	0.13
Pietrisco	0.20
Superfici scure di edifici (mattoni scuri, vernici scure...)	0.27
Superfici chiare di edifici (mattoni chiari, vernici chiare...)	0.60

L'albedo della superficie terrestre viene regolarmente stimato tramite sensori satellitari di osservazione della Terra come gli strumenti MODIS della NASA a bordo dei satelliti Terra e Aqua e lo strumento CERES sulla centrale nucleare di Suomi e JPSS, poiché la quantità di radiazione

riflessa viene misurata dal satellite solo per una singola direzione, non per tutte le direzioni, viene utilizzato un modello matematico per tradurre un insieme campione di misurazioni della riflettanza satellitare in stime della riflettanza direzionale-emisferica e bi-emisferica; questi calcoli si basano sulla funzione di distribuzione della riflettanza bidirezionale (BRDF), che descrive come la riflettanza di una data superficie e dipende dall'angolo di vista dell'osservatore e dall'angolo solare il BRDF può facilitare le traduzioni delle osservazioni di riflettanza in albedo.

### 3.3.1 Calcolo dell'Albedo

In relazione a quanto detto in precedenza il calcolo dell'albedo è considerato utile da un punto di vista climatico perché l'albedo urbano ha un forte impatto sugli UHI e causa una serie di problemi ambientali viventi e varia in relazione alle diverse morfologie urbane complesse come la forma degli isolati, densità del piano, densità della facciata, altezza dell'edificio e orientamento e altri fattori come la latitudine, tempo e fattori di vista del cielo); l'albedo urbano medio è il più basso per una città a media densità con grattacieli che presentano maggiori differenze di altezza degli edifici, che costituisce una contrapposizione particolarmente significativa in relazione al caso studio di cui ci occuperemo e alle sue caratteristiche morfologiche dove si riscontrano edifici di media altezza e strettamente vicini l'uno con l'altro.

Dunque la problematica dell'albedo urbano è stato oggetto di studio all'interno della mia tesi per verificare se vi fossero congruenze con le analisi precedentemente fatte e dunque verificare in maniera più dettagliata questo fenomeno; per svolgere il calcolo dell'Albedo, nello specifico il vicino infrarosso albedo e l'albedo visibile, sarà fondamentale l'utilizzo dei dati satellitari forniti dalla Stazione NASA Landsat8 e uno studio svolto nello specifico su questa strumentazione per determinare delle immagini satellitari che riportino queste informazioni, suddetto studio che ho voluto prendere come riferimento è quello di Shunlin Liang.

Lo svolgimento di questo calcolo si sofferma sull'utilizzo degli stessi dati utilizzati in precedenza per il calcolo della LST e della NDVI soltanto che vengono utilizzate un numero maggiore di Bande, infatti lo stesso studio suggerisce di utilizzare cinque bande per prevedere l'albedo totale delle onde corte, ma essendo che per le analisi che devo svolgere è necessario il calcolo dell'albedo visibile e del vicino IR albedo sono state considerate un numero differente di Bande; l'albedo visibile è minore per la maggior parte dei campioni di suolo e vegetazione e maggiore per le superfici di neve e ghiaccio anche perché la banda pancromatica ETM+ è molto più ampia della

banda visibile e contiene informazioni nello spettro del vicino IR in cui il suolo e la vegetazione hanno albedo molto più grandi e dunque è stato necessario utilizzare un numero di tre bande. Al contrario per quanto riguarda il vicino IR albedo visto le caratteristiche del file è necessario utilizzare tre bande nel vicino IR delle cinque bande totali necessarie; da questo albedo ne deriva che gli errori di adattamento sono maggiori di quelli nell'adattamento degli albedo visibili i coefficienti di adattamento per l'albedo diretto nel vicino IR sono stati ottenuti senza utilizzare campioni di grande SZA (80°) e bassa visibilità (2 km), di seguito sono riportate le formule per poter svolgere il calcolo dell'albedo visibile e vicino IR:

$$\alpha_{\text{NEAR-IR}} = 0.356\alpha_1 + 0.693\alpha_4 + 0.212\alpha_3 + 0.116\alpha_7 + 0.003$$

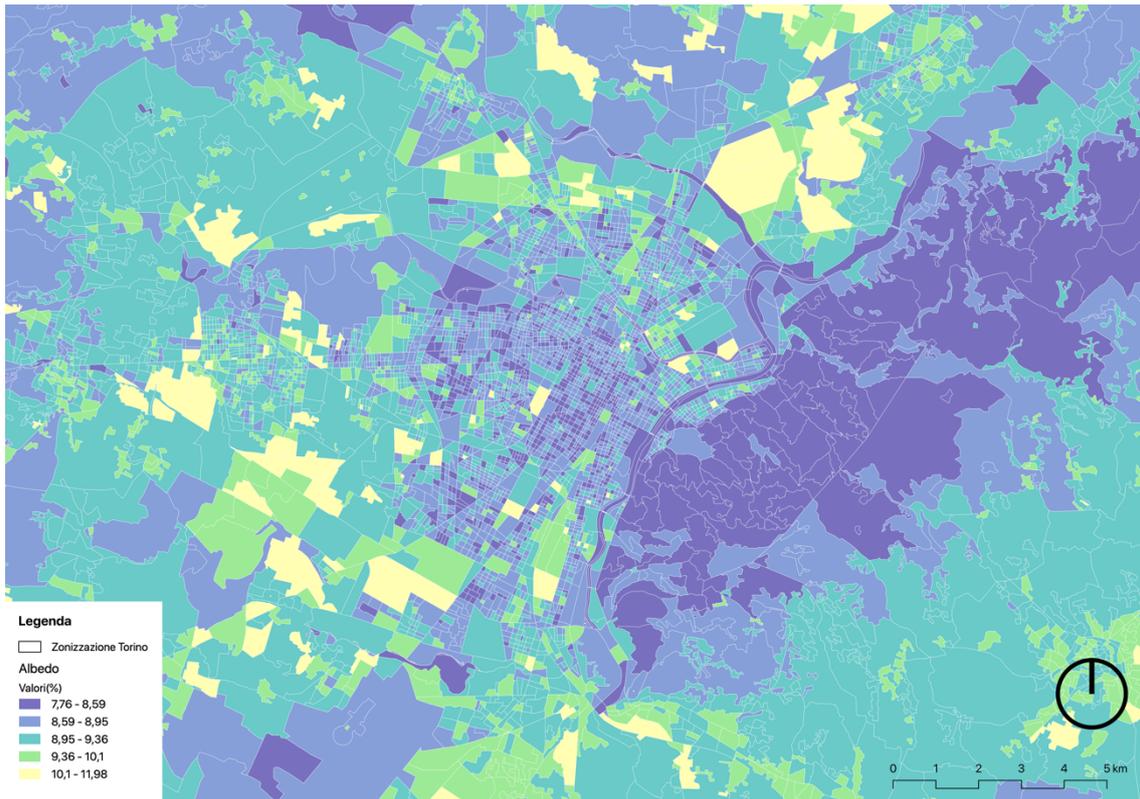
$$\alpha_{\text{VISIBLE}} = 0.443\alpha_1 + 0.317\alpha_2 + 0.240\alpha_3$$

$\alpha$  = valori delle bande ricavati dalle immagini satellitari Landsat8.

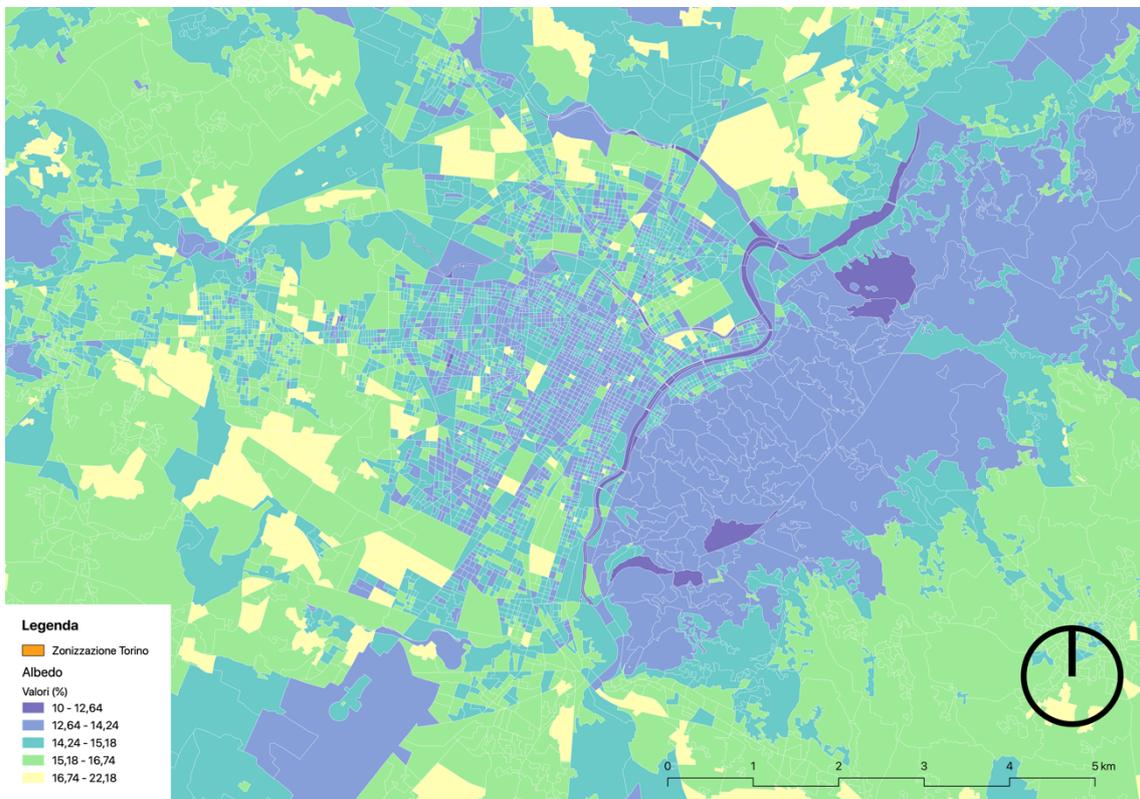
Lo svolgimento di suddetto calcolo viene svolto all'interno del software Quantum GIS ove vengono implementate le bande specifiche riportate nelle formule qua sopra per poi riportare la formula del calcolo grazie al tools "calcolatore raster" e poter ottenere delle cartografie che illustrano l'andamento del visibile albedo e del vicino IR albedo ad una scala urbanistica territoriale molto vasta ; lo step successivo è stato quello di implementare suddette informazioni nelle diverse frazioni di censimento per poter dunque, come il calcolo della LST, inquadrare i valori dell'albedo per zone specifiche e dunque anche in questo caso individuare in quale area della città metropolitana di Torino presentano caratteristiche di criticità per cui si intensificano fenomeni di isole di calore urbane; anche il calcolo dell'albedo è stato svolto in entrambi i due periodi di riferimento estivi del 2021 e 2022 per poter, anche per l'albedo, vedere come potesse variare l'andamento di questo fenomeno nel tessuto urbano e se possa andare ad influenzare sul verificarsi delle isole di calore urbane, i risultati sono visualizzati nelle cartografie in valore percentuale (%).

## NEAR IR ALBEDO

Near-IR Albedo 14/08/2021

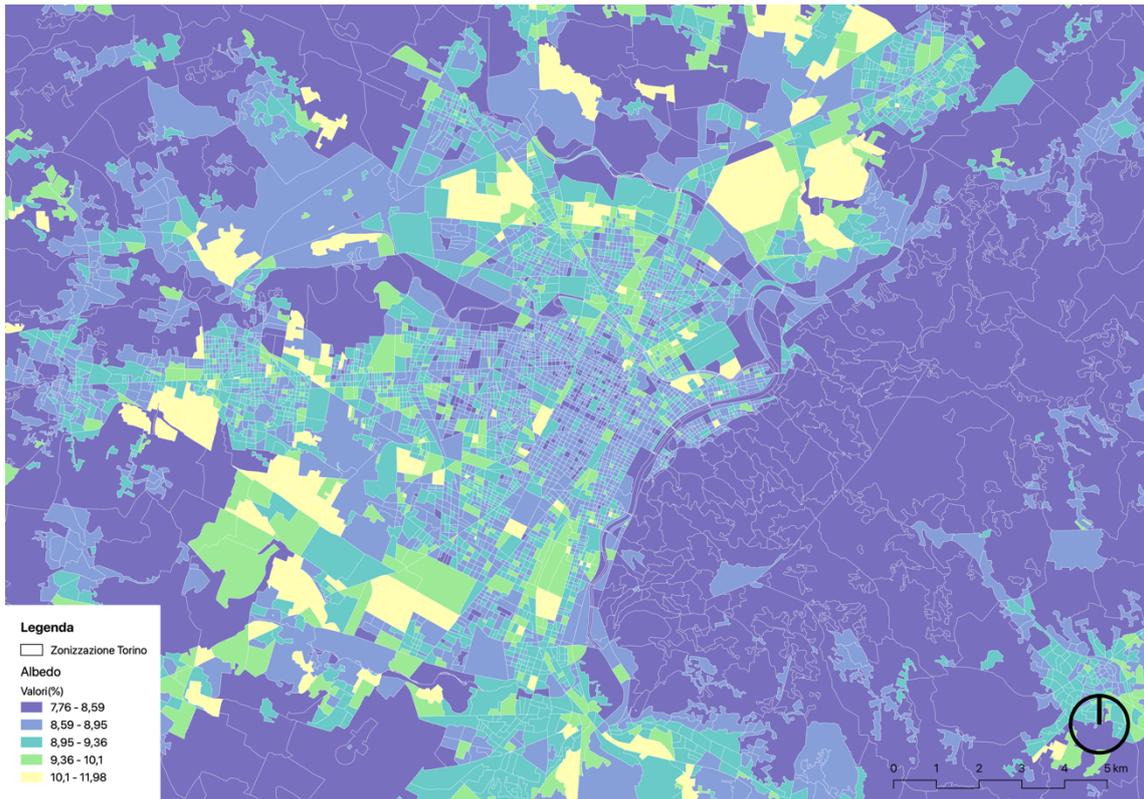


Near-IR Albedo 01/08/2022

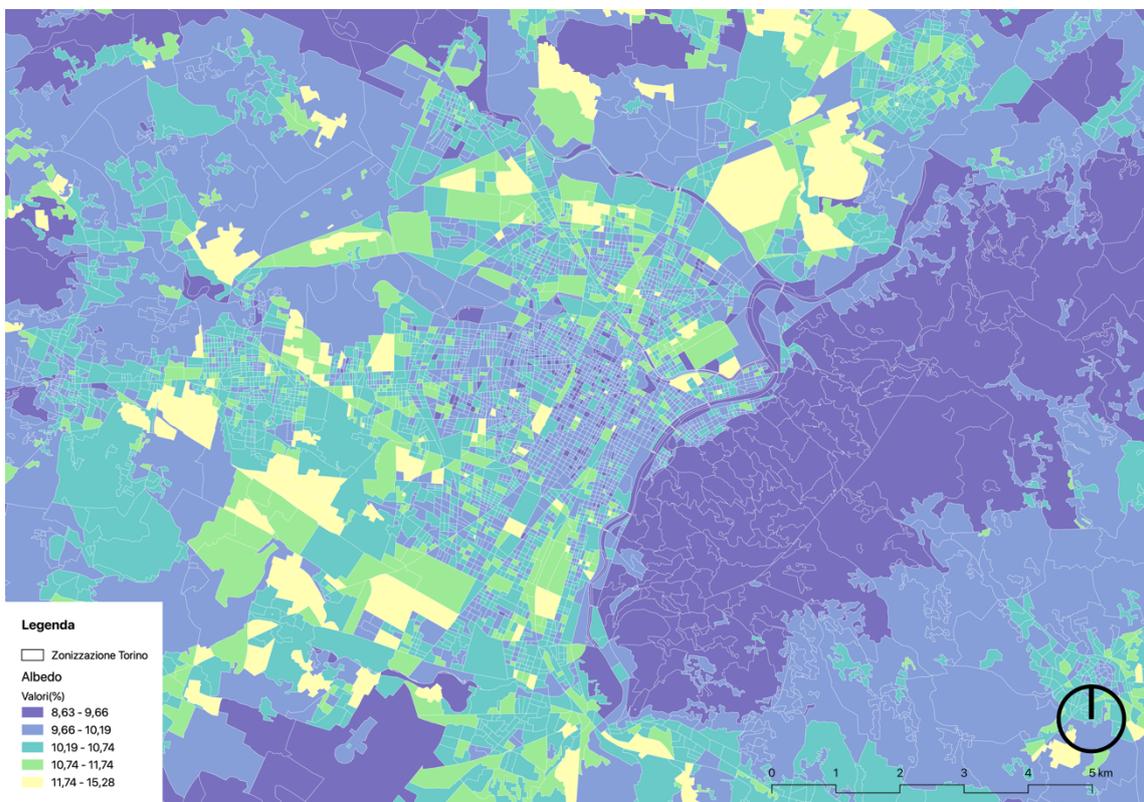


**ALBEDO VISIBILE**

Albedo Visibile 14/08/2021



Albedo Visibile 01/08/2022



In conformità ai risultati ottenuti dall'albedo visibile e del vicino IR albedo anche in questa casistica si denota come i valori delle differenti superfici hanno subito in incremento dei valori nel

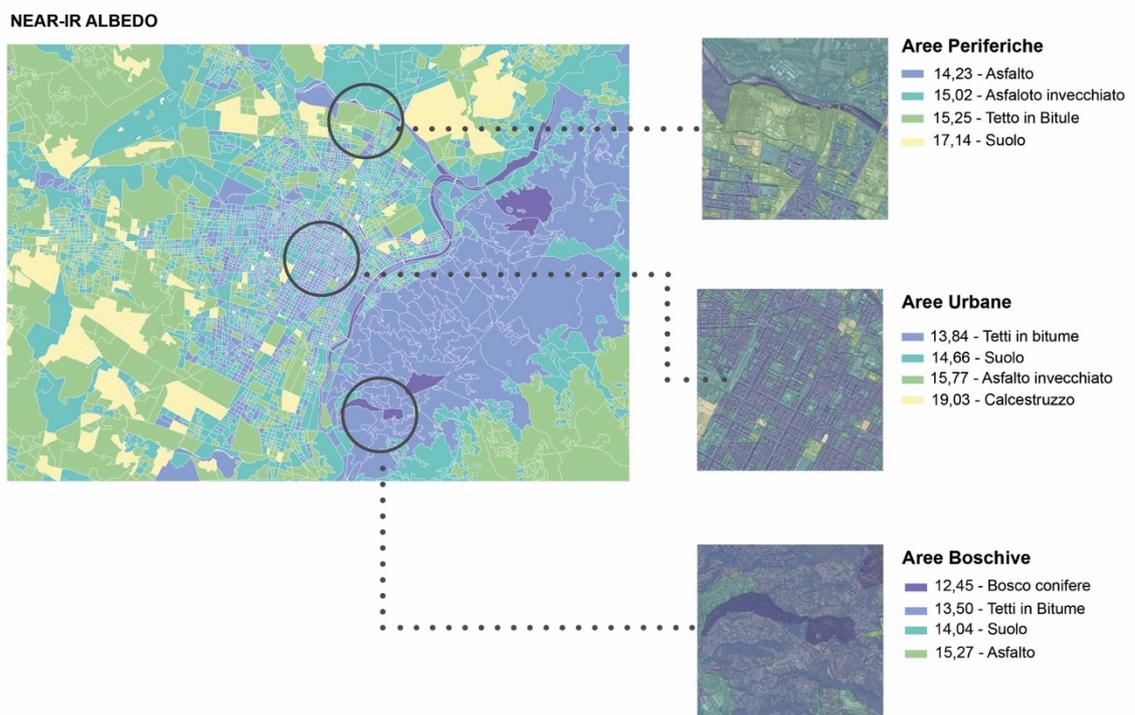
2022 rispetto al 2021, infatti se andiamo ad esaminare nello specifico le due tipologie di albedo calcolate si denota che nel 2021 si riscontrano in maniera evidente la presenza di boschetti di conifere nel territorio urbano della città di Torino con valori di 7,76% individuabili nei dintorni del centro storico di Torino e a ovest della città; questo aspetto è rilevante perché il fenomeno dell'albedo urbano ha portato effetti negativi che di conseguenza, con l'incremento delle temperature, hanno ridotto i valori e gli effetti dei boschi di conifere e come si vede dalle cartografie si può affermare che i valori sono parzialmente ridotti per quanto riguarda l'albedo visibile e al contrario ormai inesistente per il visibile IR albedo, questo aspetto negativo è identificabile al fenomeno delle UHI.

Già da questo aspetto è evidente che tra le due cartografie quello che riporta valori esponenzialmente più critici è il visibile IR albedo rispetto all'albedo visibile, infatti se prendiamo in considerazione solo l'albedo visibile l'aspetto critico che maggiormente si può evidenziare è che tra il 2021 ed il 2022 vi è stato un innalzamento dei valori che ha portato cambiamento significativi univocamente nelle aree circostanti alla città di Torino, infatti rispetto al 2021 ove vi è una prevalenza di valori tra il 7,69% e l'8,59% nel 2022 si nota come vi è stato un incremento dei valori che vanno 9,66% a 10,74% che possono essere riconducibile dunque a superfici asfaltate che possono influenzare le zone di censimento che hanno subito queste variazioni e dunque può essere la causa principale di questo aspetto; al contrario se andiamo a prendere in considerazione i risultati della visibile IR albedo si riscontra come rispetto alla precedente tipologia di albedo troviamo delle variazioni sia nelle aree suburbana del comune torinese ma anche nella stessa città di Torino, infatti vi è stato un incremento dei valori dell'albedo del 2% riducendo i valori delle superfici territoriali naturali.

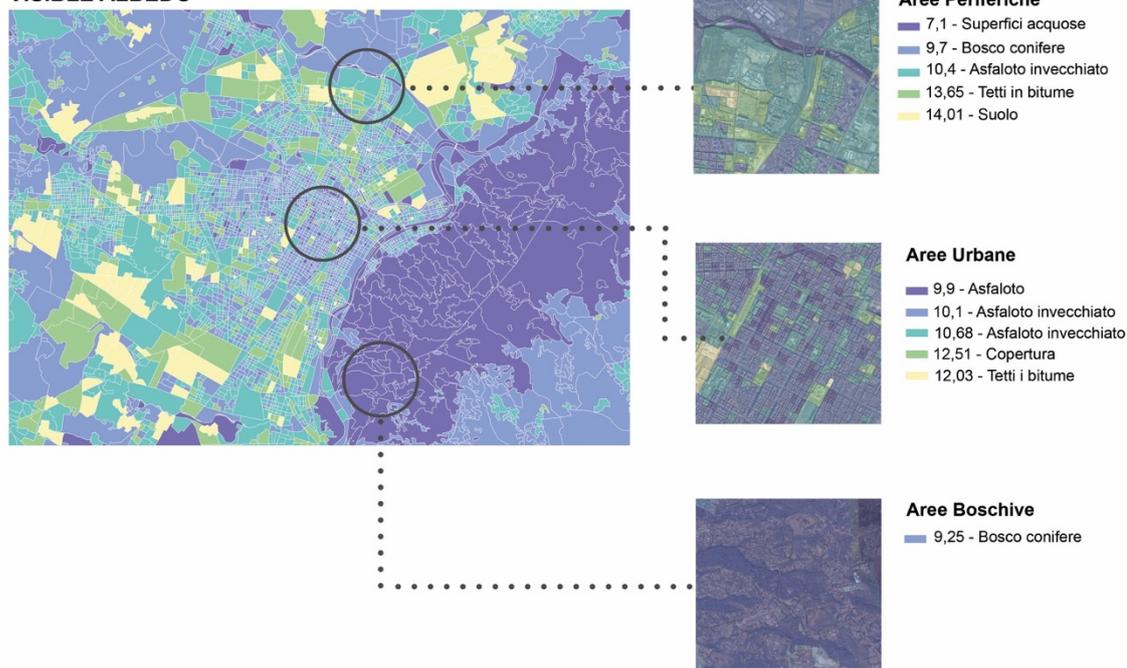
Nel 2022 questo incremento dei valori ha portato ad avere un uno standard che va da 15,18% e 16,74% che può essere dunque riconducibile a suoli tipici in creta e marmo o addirittura fabbricati edili con presenza di coperture in lamiera e bitume; questo aspetto, dunque influenza sul clima delle aree interessate, nonostante la potenziale presenza di aree verdi, vanno a sviluppare un albedo urbano che può creare fenomeni di isole di calore urbane, questi valori oltre a presentarsi in vaste aree del territorio suburbano della città metropolitana di Torino la troviamo anche in gran parte del centro cittadino di Torino in questo frangente però è molto più intuibile le motivazioni per cui le UHI si siano generate per questo le caratteristiche del tessuto urbano e l'alta densità urbana della città ha portato a questo incremento e dunque i valori di albedo delle coperture e delle strade sono andate a influenzare e dunque a prevalere sulle zone di censimento.

In fine troviamo le aree ove l'albedo presenta valori molto alti che vanno oltre il 15%, d'altro canto questo aspetto rappresenta una costante sia per il vicino IR albedo che per l'albedo visibile sia durante il 2021 che per il 2022; si denota come sia per il vicino IR albedo e l'albedo visibile nel

2021 presenta valori massimi che vanno dal 10,11% e l'11,98% , ciò giustificerebbe il perché suddetti valori sono pressoché identici per le due tipologie di albedo, sia nelle zone suburbane che urbane della città al contrario se esaminiamo i valori del 2022 troviamo come a causa dell'alta densità edificatoria e presenza di zone asfaltate vi sia stato una variazione dell'albedo di 11,74% e 15,26% per quanto riguarda l'albedo visibile e di 16,74% e 22,16% per quanto riguarda il vicino IR albedo; a conferma di ciò sono stati svolti delle verifiche sia per quanto riguarda l'IR albedo e la visibile albedo anche in conformità di porre maggiore coerenza e conferma delle considerazioni svolte fino ad ora, e nello specifico sono state prese in esame zone nel territorio di Torino con caratteristiche differenti per poter quindi valutare la correttezza dei valori ottenuti dell'albedo e la coerenza rispetto ai diversi tessuti morfologici, nello specifico sono stati presi tre tipologie differenti di tessuto morfologico ovvero periferici, urbani e zone boschive a bassa densità urbana:



## VISIBLE ALBEDO



Questi schemi oltre a confermare i risultati ottenuti dall'albedo permette di determinare a scala territoriale dell'intero capoluogo torinese quale dei due risultati dell'albedo sia più efficace per determinare dei valori dettagliati di questo fenomeno per sezione di censimento, infatti, da una prima analisi si può notare come NI Albedo presenti valori più dettagliati e permette di avere un grado di dettaglio più preciso sui materiali che influiscono sul territorio rispetto all'albedo visibile che presenta valori più generalizzati e sintetici di queste aree; nello specifico troviamo la zona evidenziata a sud-ovest di Torino caratterizzata per una grossa prevalenza da verde e boschi, ponendo un confronto tra il visibile e il NIR albedo si riscontra come nel secondo caso troviamo solo valori inerenti all'albedo di verde e boschi, ma al contrario per quanto riguarda l'IR albedo porta in luce anche i valori di asfalto e coperture e quindi dimostrare come valori più elevati tra il 13,5% e del 15,2% determinando come presenza di edificato ed asfalto, anche se limitato, ha portato un incremento dell'albedo nelle sezioni di censimento a causa delle radiazioni vicini infrarossi influenzando sulle parti edificate.

Al contrario per quanto riguarda le altre zone si denota che sono maggiormente influenzati dalla radiazioni del vicino rosso, nello specifico andando a porre un distinguo per quanto riguarda le diverse tipologie di suolo, nello specifico troviamo come nel visibile albedo rispetto al NIR albedo presenta un range di valore più vasto e quindi permette di individuare in maniera più chiara quali possono essere le criticità di queste zone urbane; infatti se andiamo a guardare le zone

periferiche e quelle urbane i valori dell'albedo che possono influenzare maggiormente sul territorio riguardano principalmente le coperture dei diversi edifici maggiormente esposte alle radiazioni solari precedentemente descritte in entrambe le due zone, per questo in relazione al Visible Albedo sono maggiormente influenzati dai valori di diverse coperture o addirittura nello specifico da tetti in bitume con valori specifici tra il 12,5-13% coprendo gran parte del suolo interessato delle due zone; al contrario se andiamo a guardare i valori ottenuti il NIR Albedo notiamo che. Le bande del vicino infrarosso hanno portato in risalto come aspetto critico principalmente i valori al livello del suolo superando addirittura parametri oltre il 15% e quindi andando a distinguere l'asfalto normale da quello invecchiato che porta considerevolmente al incremento delle temperature nelle aree urbane molto di più rispetto alle zone periferiche ove le percentuali di asfalto invecchiato risultano nettamente inferiori permettendo di visualizzare anche i valori del corso d'acqua D'ora e delle praterie boscate e campi limitrofi.



## 4 CALCOLO DEGLI INDICI DI INTENSITA' DELLE UHI

### 4.1 Indici di intensità

Le analisi che abbiamo svolto fino ad adesso sono servite per poter identificare ed inquadrare quelle aree ove sono presenti le isole di calore urbane sia nel 2021 che il 2022 e dunque individuare dove questo fenomeno è persistente o addirittura ove le condizioni climatiche e la morfologia urbana ha portato, nei casi più drammatici, ad un aumento drammatico del fenomeno delle isole di calore urbane; per questo i prossimi indicatori di cui mi occuperò saranno fondamentali per poter misurare l'ampiezza oraria giornaliera e il gradiente di temperatura dell'aria tra le aree urbane e le aree rurali circostanti, ma anche per andare a selezionare una stazione di riferimento per poi poter svolgere i calcoli ed individuare in suddette zone quale sia l'intensità con cui si manifestano nel territorio torinese.

Per questo comprendere l'intensità delle isole di calore è fondamentale anche per poi poter attribuire quale sia la causa per cui suddetto valore è così alto, e se è univocamente legato a caratteristiche morfologiche, per la forma, posizionamento, orientamento o per le caratteristiche dei materiali che compongono gli edifici; per questo per poter verificare queste considerazioni è stato utile l'ausilio dei dati ricavati in precedenza della LST e della temperatura dell'aria delle diverse stazioni meteo, tramite Quantum GIS, è stato possibile andare a calcolare, in un primo momento, gli indicatori denominati come Q1 e Q2 che servono a dare un prima idea concreta di questo fenomeno e poi per poter calcolare quegli indicatori di intensità per misurare le UHI ove è necessario porre un distinguo delle zone urbane e suburbane ovvero Q3 e la SUHI, anche questa fase di studio è stata presa in esame la stessa porzione di territorio considerata per gli studi precedenti per poter dunque distinguere quali siano le stazioni suburbane e quelle urbane e per i successivi studi che vedremo poter ridurre la scala di studio univocamente alla città di Torino.

#### 4.1.1 Indicatori di intensità Q1 e Q2

In questa prima fase di calcolo degli indicatori di intensità saranno utili non solo per una successiva riduzione di scala dell'area di studio, visto che il fenomeno delle isole delle isole di calore sarà ristretto univocamente alla città di Torino ma anche per poter avere un primo

inquadramento di questo fenomeno, infatti i primi due Indicatori che ho calcolato Q1 e Q2 prenderanno come riferimento i valori medi minimi e massimi della temperatura dell'aria delle stazioni meteo, senza fare distinzione della loro posizione geografica infatti la loro selezione è stata fatta appositamente per le loro caratteristiche morfologiche e dalle caratteristiche che identificano l'area in cui si trovano, e che mi permetteranno di individuare sia dai risultati che da queste caratteristiche quale possa essere le stazioni identificabili come suburbane e urbane; ovviamente si può già affermare come più alto sarà il risultato che ne verrà fuori da questo calcolo più è probabile che suddette stazioni saranno identificate come stazioni meteo situate in zone urbane al contrario se il risultato darà valori bassi saranno considerate come. Stazioni meteo suburbane.

Dunque, andando a descrivere come si svolge il calcolo guidato di Q1 e Q2 si può distinguere come. Il primo indicatore Q1 è una grandezza che si ricava dalla differenza tra la temperatura massima meno la temperatura media, ove si distinguono le ore del giorno rispetto a quelle della notte; anche l'indicatore Q2 pone una distinzione tra ore diurne e ore notturne ma al contrario per calcolare questa grandezza di intensità delle UHI si andrà a calcolare la differenza tra la temperatura massima e quella minima, di seguito sono riportate le formule per il calcolo di Q1 e Q2 e risultati dei calcoli svolti per le singole. Stazioni meteo tenendo conto dei periodi di riferimento del 2021 e 2022:

$$Q1 = \max T_{air} - \text{mean daily } T_{air}$$

$\max T_{air}$  = Temperatura dell'aria massima giornaliera

$\text{mean daily } T_{air}$  = Temperatura dell'aria media giornaliera

$$Q2 = \max T_{air} - \min T_{air}$$

$\max T_{air}$  = Temperatura dell'aria massima giornaliera

$\min T_{air}$  = Temperatura dell'aria minima giornaliera

TABELLA RISULTATI INDICATORI Q1 E Q2

Stazione Meteo	14/08/21		01/08/22		11/01/22	
	Q1	Q2	Q1	Q2	Q1	Q2
Stazione Torino Alenia	6,1	12,2	5,8	12,8	4,5	7,9
Bauducchi	8,9	16,8	8,6	18,3	5,1	8,2
Stazione Torino Giardini Reali	7,7	15,1	7,3	15,6	6,1	9,6
Stazione Inrim	8,2	14,4	7,2	16,1	4,63	8,1
Stazione Vallere	6,8	13,6	7,9	16,8	5,2	8,7
Stazione Reiss Romoli	5,5	11,5	6,4	14	5	8,9
Stazione Rivoli Cerosa	5,4	12,5	5,9	14,7	5,2	9,5
Universita di Torino Fisica	6,6	12,6	6,9	13,7	5,3	8,4
Stazione via della Consolata	5,2	10,5	6,1	12	2,9	5,1

In conformità ai risultati riportati nella tabella qua sopra si può notare come l'andamento si possa già porre una distinzione tra le zone suburbane e le zone urbane, infatti, si delinea come nelle zone urbane presentano un andamento medio di Q1 tra 6,0 e 7,5 e di Q2 tra 13,0 e i 14,0 per entrambi i valori di riferimento, tra questi quello significativo che presenta valori particolarmente alti è la stazione meteo di Bauducchi che nonostante sia posizionata fuori dal tessuto urbano della città presenta valori particolarmente elevati di 8,9 Q1 e 16,8 Q2 nel 2021 e di 8,6 Q1 e 18,3 Q2 nel 2022 e se paragonato ai valori delle zone urbane della città di Torino come Vallere ed Inrim che raggiungano valori medi di 7,0 per Q1 e di 14 per quanto riguarda Q2, la stazione di Bauducchi non presenta caratteristiche per cui possa riconoscersi come in zona periferica e non presenta valori utili per le analisi successive che svolgerò nella fase successiva; inoltre Bauducchi assieme alla stazione Inrim costituiscono le stazioni, in conformità alla presenza significativa di edificato delle due aree, ove vi è stato l'incremento maggiore dei valori Q2 tra il 2021 e il 2022, infatti la stazione di Bauducchi ha riscontrato un aumento da 16,8 a 18,3 per quanto riguarda Bauducchi e da 14,4. 16,1 per quanto riguarda Inrim

Al contrario troviamo anche stazioni meteo per cui i risultati sono più bassi rispetto alla media precedentemente descritta tra queste appunto troviamo i risultati delle stazioni di Via della Consolata, Reiss Romoli e Rivoli la Cerosa ove si riscontrano dei valori medi per quanto riguarda Q1 di 5,5 nel 2021 e di 6,0 nel 2022 al contrario per quanto riguarda Q2 troviamo una media di 11,0 nel 2021 e di 13,0 nel 2022; in conformità a queste considerazioni è chiaro che gli ambienti presi in esame che presentano dei risultati così bassi sono probabilmente legati al fatto che il tessuto urbano di Torino di queste aree vadano ad instaurare un clima con una temperatura dell'aria che non presenti, in media, sbalzi di temperatura eccessivi e

che mantenga valori pressoché costanti, tra queste tre stazioni meteo quella che ritengo fondamentalmente quella significativa per il calcolo degli indicatori che necessitano di porre a confronto le zone urbane rispetto a quelle suburbane è appunto quella di Rivoli la Cerosa in conformità ai valori della temperatura dell'aria misurati nel 2021 e nel 2022 nei periodi di agosto e gennaio, ai risultati degli indicatori Q1 e Q2 ed in fine alla sua posizione in area periferica di Torino e alle caratteristiche del tessuto urbano che coniuga aree verdi e zone edificate.

#### 4.1.2 Indicatore di intensità Q3

Una volta determinato quale sia la stazione di riferimento per la quale possa essere considerata come suburbana, in relazione alle considerazioni fatte e per le sue caratteristiche periferiche, è ricaduta appunto sulla stazione meteorologica di Rivoli la Cerosa, per poter svolgere questo calcolo dell'intensità dell'UHI è stato fondamentale considerare per ciascuna stazione meteo i valori della temperatura massima anche per valutare durante i picchi massimi di temperatura oraria giornaliera quale fosse la sostanziale differenza di intensità tra le zone urbane e quelle periferiche del comune torinese; lo svolgimento del calcolo dell'indice Q3 è basato sulla copertura del suolo andando ad evidenziare la differenza di temperatura oraria dell'aria nelle aree urbane rispetto alle aree limitrofe suburbane, di seguito viene riportata la formula per svolgere suddetto calcolo e i rispettivi risultati:

$$Q3 = T_{air(urban)} - T_{air(rural)}$$

$T_{air(urban)}$  = valori della temperatura dell'aria oraria giornaliera delle zone urbane

$T_{air(rural)}$  = valori della temperatura dell'aria oraria giornaliera delle zone rurali

### Valori Massimi temperatura dell'aria delle stazioni meteo di Torino

Stazione Meteo	Valori Meteorologici		
	14/08/21	01/08/22	11/01/21
Stazione Torino Alenia	34	34,5	4,2
Bauducchi	35,1	35,4	3,8
Stazione Torino Giardini Reali	34,9	35,7	4,8
Stazione Inrim	35,5	36,2	5,5
Stazione Reiss Romoli	33,3	34,5	4,4
Rivoli Cerosa	33,2	34,4	3,8
Universita di Torino Fisica	35,2	35,7	5,8
Stazione Vallere	33,7	35,4	4,2
Stazione via della Consolata	33,8	35	3,8

### Risultati valori Indice di Intensità Q3

Stazione Meteo	Valori Q3 in relazione alla stazione Rivoli la Cerosa		
	14/08/21	01/08/22	11/01/21
Stazione Torino Alenia	0,8	0,1	0,4
Bauducchi	1,9	1	0
Stazione Torino Giardini Reali	1,7	1,3	1
Stazione Inrim	2,3	1,8	1,7
Stazione Reiss Romoli	0,1	0,1	0,6
Universita di Torino Fisica	2	1,3	2
Stazione Vallere	0,5	1	0,4
Stazione via della Consolata	0,6	0,6	0

Già da questa prima analisi si può riscontrare come andando a mettere a confronto le altre stazioni meteo rispetto a quella di Rivoli la Cerosa si rispecchia che le stazioni che presentano un'intensità significativa sono le stazioni di Inrim, Bauducchi e la stazione dell'università di Fisica tra queste la stazione con valori più alti è appunto quella di Inrim con valori di 2,3 nell'agosto del 2022 e di 1,9 nell'agosto del 2021; come già detto in precedenza questo calcolo è in funzione a determinare la differenza di intensità tra zone urbane e zone suburbane dunque si nota che per le caratteristiche morfologiche di stazioni come Inrim, Bauducchi e Università di fisica è evidente che i valori di intensità siano molto alti a causa della presenza di edificato che vanno a limitare gli effetti di zone verdi e dunque innalzare le temperature dell'aria denotando valori di Q3 molto alti, al contrario le altre zone in cui sono state calcolati i valori di Q3 per cui la differenza di

intensità rispetto Rivoli la Cerosa è particolarmente basso è probabilmente legato al fatto che che presentano caratteristiche morfologiche del tessuto urbano simili a quelle di Rivoli la cerose e per cui il fenomeno delle UHI si nettamente mitigato rispetto a stazioni come Bauducchi infatti se poniamo un confronto tra quest'ultima rispetto ad Alenia si declina che nel 2021 la prima presenta un intensità Q3 di 1,9 rispetto a 0,8 della stazione di Alenia, invece nel 2022 si denotano valori di 1 per Bauducchi che è nettamente superiore rispetto ai 0,1 di Alenia.

L'aspetto particolare, evidente già dalla stazione di Inrim, precedentemente analizzata per i suoi valori di Q3 particolarmente elevati, che si può evidenziare da questo studio è che l'intensità della temperatura dell'aria che influenza il fenomeno delle isole di calore ha subito una riduzione nel 2022 rispetto al 2021 per questo l'andamento della variazione di intensità delle stazioni è considerevolmente diversa da una stazione e l'altra infatti troviamo uno standard delle stazioni ove l'intensità si è ridotta considerevolmente tra il 2021 e il 2022 ove la media per cui questi valori si riducono di circa -0,5; al contrario vi sono dei casi particolari riconducibili alla zona nord della città di Torino ove è presente un alta densità di nuclei residenziali, caratterizzati dalla presenza di edifici accostati ad aree verdi o tessuti urbani ove i fabbricati sono a stretto contatto l'uno con l'altro denotando dunque valori di Q3 molto più bassi rispetto agli elementi precedentemente analizzati ma che d'altro canto dai calcoli svolti sulle stazioni di questa zona, Reiss Romoli e Via della Consolata, nelle estati del 2021 e 2022 i valori della Q3 di intensità delle UHI si è mantenuta costante a 0,1 per quanto riguarda Reiss Romoli e di 0,6 per la stazione di via della Consolata.

Come detto in precedenza suddette zone, nonostante i valori invariati non presentano sufficienti criticità per cui dover essere considerate zone drammatiche ove sussiste un livello significativo di UHI, al contrario molto più drammatico è il caso che riguarda le zone di Inrim e Università di Fisica; ove per quanto riguarda il primo caso si trova nella zona sud periferica di Torino ovvero nei pressi della vasta zona industriale di Mirafiori che costituisce un'importante criticità nell'influenzare il clima delle zone limitrofe, al contrario la seconda stazione è fortemente legata ad una zona di Torino ove la stretta vicinanza tra un edificio e l'altro porta a generare fenomeni di canyon urbani e dunque intensità di Q3 molto alti.

#### **4.1.3 Surface Urban Heat Island Intensity (SUHII)**

L'altro indice di intensità che è stato utile per lo svolgimento dell'individuazione delle aree nel territorio di Torino ove il fenomeno delle UHI è particolarmente evidente è stato l'indice "Surface

*Urban Heat Island Intensity*” o semplicemente SUHII, suddetto indice fa riferimento ai valori della LST messi a confronto tra le zone Suburbane e quelle Urbane per questo saranno molto utili i valori individuati in precedenza in maniera puntuale nelle diverse stazioni meteorologiche contrapposte ai dati forniti da Landsat 8 con un grado di dettaglio di pixel 100x100, anche in questo frangente è stato fondamentale svolgere il confronto delle aree periferiche rispetto alle aree urbane, infatti anche durante il calcolo delle SUHII è stata usata come stazione di riferimento la stazione di Rivoli la Cerosa per i valori di LST inferiori rispetto alle altre stazioni; suddetto calcolo della SUHII come anche l’indice di intensità Q3 tiene conto dei valori durante le fasce orarie diurne suddetto calcolo tiene conto delle date di riferimento di 11/01/2021, 14/08/2021 e 04/08/2022 di seguito viene riportato la formula del calcolo della SUHII e i rispettivi risultati del calcolo:

$$SUHII = LST_{(urban)} - LST_{(rural)}$$

$LST_{(urban)}$  = valori giornalieri della LST delle zone urbane durante le fasce orarie diurne

$LST_{(rural)}$  = valori giornalieri della LST delle zone rurali durante le fasce orari diurne

#### Valori della LST delle stazioni meteo di Torino

Stazione Meteo	Valori LST		
	14/08/21	01/08/22	11/01/21
Stazione Torino Alenia	36,81	41,6	-0,24
Bauducchi	32,58	35,99	0,43
Stazione Torino Giardini Reali	31,94	34,86	-3
Stazione Inrim	34,44	40,71	-1,67
Stazione Reiss Romoli	34,24	38,17	-2,41
Rivoli Cerosa	31,81	33,72	-3,13
Universita di Torino Fisica	32,1	34,98	-2,65
Stazione via della Consolata	32,49	35,37	-2,4
Vallere	32,71	37,49	-1,06

### Risultati della SUHII in relazioni alla stazione di Rivoli la Cerosa

Stazione Meteo	SUHII in relazione alla stazione Rivoli la Cerosa		
	14/08/21	01/08/22	11/01/21
Stazione Torino Alenia	5	7,88	2,89
Bauducchi	0,77	2,27	3,56
Stazione Torino Giardini Reali	0,13	1,14	0,13
Stazione Inrim	2,63	1,14	1,46
Stazione Reiss Romoli	2,43	4,45	0,72
Universita di Torino Fisica	0,29	1,26	0,48
Stazione via della Consolata	0,68	1,65	0,73
Vallere	0,9	3,77	2,07

Dunque, in relazione a quanto detto già in precedenza con l'indice Q3 e svolgendo un confronto con i risultati ottenuti dall'indice SUHII si denota come tra le stazioni che presentano valori di intensità da UHI legato all'influenza della LST più elevati troviamo sempre la zona ove si trova la stazione di Inrim, Reiss Romoli e Alenia, infatti per i periodi di riferimento che sono stati presi in esame troviamo valori della SUHII che corrispondono a: 1,46 per l'11/01/2021, 2,63 per il 14/08/2021 e 1,14 per il 01/08/2021 per quanto riguarda la stazione di Inrim, di 0,72 l'11/01/2021, 2,43 il 14/08/2021 e di 4,45 il 01/08/2022 per la stazione di Reiss Romoli e di 2,89 l'11/01/21, 5 per il 14/08/2021 e di 7,88 per il 01/08/2022 per la stazione di Alenia; presentando andamenti, dunque, nettamente superiori rispetto ai valori calcolati per le altre stazioni meteo ed in particolare per quanto riguarda i due periodi di riferimento estivi andando a poter confrontare come i valori di intensità nel 2022 subiscono un incremento di +2 delle SUHII fatta esclusione della stazione di Inrim che è l'unica stazione meteo che presenta valori in calo nel 2022 abbassandosi da 2,63 a 1,14 mantenendo una sorta di coerenza con l'indice di intensità Q3 e dunque denota come. Vi sia una correlazione tra la temperatura dell'aria e quella superficiale della LST.

Per quanto riguarda i risultati delle SUHII le altre due stazioni meteo si può affermare che per quanto riguarda la stazione di Alenia presenta caratteristiche morfologiche analoghe a quelle di Inrim, e sono ancora più amplificate a causa della posizione nel cuore di una delle zone industriali a nord della città di Torino e dunque nel bel mezzo di un tessuto urbano caratterizzato da una totale prevalenza di materiali edili e dunque temperature della LST rilasciate durante le ore diurne che sono molto più elevate di quelle di Rivoli la Cerosa; al contrario per quanto riguarda Reiss

Romoli come visto in precedenza essendo collocata a nord del centro della città vi è una chiara prevalenza di palazzi storici a medio alta intensità che possono andare a generare fenomeni di isole di calore urbane, che, in relazione della differenza di intensità della SUHII denota come i valori siano nettamente più alti rispetto ai valori di LST delle zone suburbane, anche in questa casistica troviamo come i valori di SUHII tra il 2021 e il 2022 hanno subito una crescita di intensità del fenomeno delle UHI.

Particolarmente drammatico è invece il caso per quanto riguarda la zona in cui si trova la stazione meteorologica di Vallere che rispetto ai valori di Q3 che non ha denotato particolari variazioni incisive al contrario per quanto riguarda i valori di SUHII ha evidenziato come ci sia stato un aumento da 0,9 a 3,77 nel 2022; questo aspetto va citato visto le caratteristiche territoriali ove è situata la stazione di Vallere ricca di vegetazione ed aree verdi nei pressi delle rive del fiume Po e che dovrebbe essere un polmone verde che avrebbe dovuto mitigare e mantenere bassa la temperatura superficiale dell'area.

## 5 INDICATORI URBANI E IDENTIFICAZIONE DELLE ZONE CASI STUDIO

### 5.1 Indicatori Urbani

Per quanto riguarda questa altra parentesi inerente una serie di indicatori urbani oltre a prendere in esame per ciascuna zona studio i valori ottenuti dalla BD e dalla BCR sarà fondamentale visualizzare anche i risultati di altri indicatori di intensità più specifici che vanno a considerare, dunque non solo fattori di densità urbana e della copertura del suolo ma inoltre degli altri fattori per riguardante le caratteristiche territoriali urbani per cui le zone che andremo a visualizzare nei prossimi capitoli costituiranno delle caratteristiche per cui possono essere individuati come aspetti che. Influenzano sul fenomeno delle UHI.

Dunque, se confrontato con la prima parte della tesi, ove gli indicatori urbani sono stati utilizzati per differenziare le diverse sezioni di censimento e di conseguenza individuare quelle zone della città per cui fenomeni dell'albedo e della LST fossero più alti rispetto alle zone suburbane, al contrario in questa parte della tesi sono stati integrati degli ulteriori indicatori più specifici e che sono serviti nel dettaglio a descrivere alcuni aspetti di queste zone e a caratterizzarli per distinguerli l'uno il tessuto urbano dall'altro e quindi rendere più facile individuare, tra queste variabili, quali posso essere le motivazioni, o gli aspetti che possono influire sul clima di queste aree e quali sono le zone più significative; nello specifico gli indicatori presi in esame per svolgere questo studio, oltre alla BD e alla BCR, sono l'H/W, il MOS e l'H/H<sub>average</sub>, in relazione a questi indicatori ho potuto identificare dei valori per cui mi hanno permesso di approfondire variabili climatiche per cui hanno portato criticità sul contesto urbano.

#### 5.1.1 H/W

L'Aspect Ratio è un fattore che va a definire il rapporto di un edificio con il suo contesto, tenendo conto dell'altezza dell'edificio e la distanza con gli edifici intorno, dunque, quello che ne deriva è che se il risultato è alto vuol dire che il valore dell'altezza dell'edificio è maggiore rispetto alla distanza fra esso e gli edifici circostanti, risultando così una situazione compatta. Viceversa, un aspect ratio basso mostra una distanza maggiore fra gli edifici e quindi una situazione morfologica decisamente meno densa; questa tipologia di calcolo serve anche a capire i flussi d'aria in un contesto urbano.

Il parametro dell'Aspect Ratio è direttamente collegato al fenomeno dei Canyon Urbani fenomeno problematico perché abbiamo visto si sviluppa in luoghi dove la strada è fiancheggiata da edifici su entrambi i lati; si riscontra come gli esempi più frequenti di questa situazione si hanno per alti valori di H/W, soprattutto in prossimità di grattacieli; canyon urbani influenzano diverse condizioni locali, tra cui la temperatura, il vento, la qualità dell'aria

L'Urban Canyon contribuisce all'effetto isola di calore urbana per questo usufruire di questo calcolo ci permetterà di individuare in alcune zone questo fenomeno riscontrando alcuni aspetti particolari, tra cui la temperatura all'interno del canyon potrebbe presentare valori anche di 2-4 ° più alti rispetto ad altre zone infatti questo calcolo sarà molto utile per poter classificare le zone che poi andremo a studiare in maniera approfondita e dunque in relazione ai risultati ottenuti dalla H/W sarà possibile anche individuare fenomeni di isola di calore e canyon urbani.

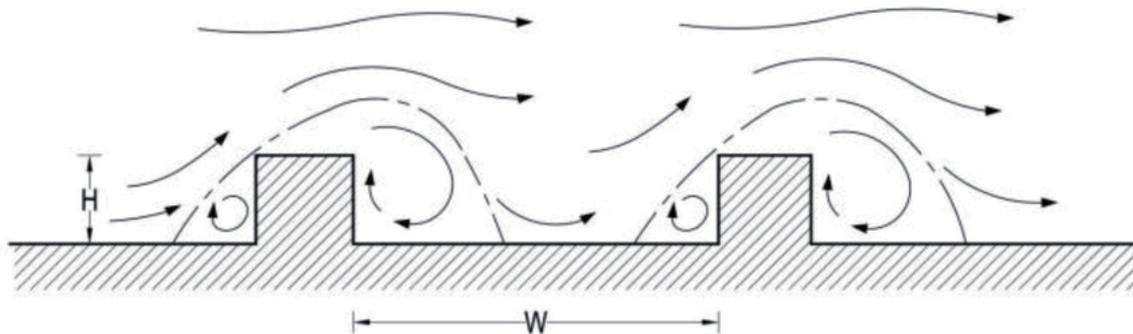


Fig. 11 Illustrazione rappresentante l'andamento dei flussi dell'aria secondo l'andamento dell' H/W

### 5.1.2 MOS

La Main Orientation of the Street è un parametro in funzione a determinare quale sia l'orientamento prevalente della strada per lo svolgimento di questa analisi sono stati presi in considerazione sei orientamenti in maniera tale che possa poi favorire l'orientamento Est-Ovest, considerato molto più ottimale in termini di apporti solari

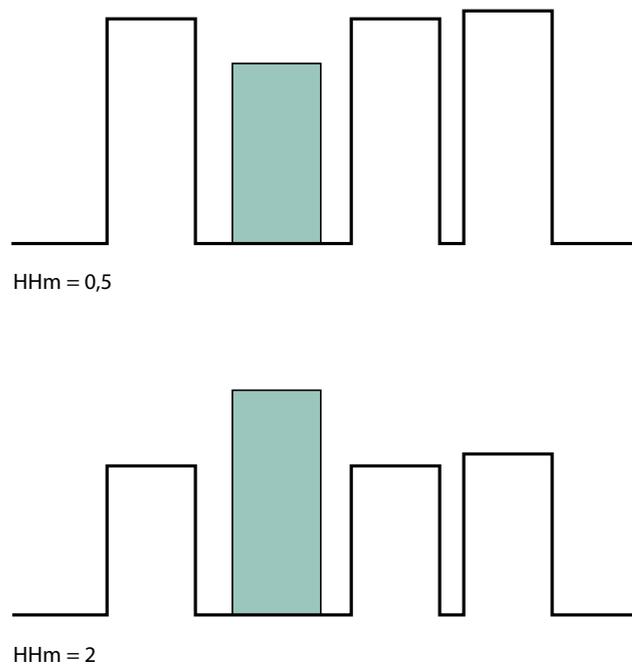
Tabella dei Valori presi in considerazione MOS

Orientamento rispetto a Nord	Parametri
0°/30°	0,8
30°/60°	1,0

60°/90°	1,2
0°/-30°	0,9
-30°/-60°	1,1
-60°/-90°	1,3

### 5.1.3 $H/H_{average}$

La Building height and the average height of the surrounding è un altro indicatore che tiene conto dell'altezza dell'edificio rispetto all'altezza media degli edifici circostanti dell'area in esame come caso studio, più il valore dell'edificio di riferimento sarà vicino a uno e più edifici presenti nell'area allora vorrà dire che la situazione è omogenea in altezza; dunque in termini di valori se un valore sarà maggiore di uno allora vorrà indicare che l'edificio in considerazione è superiore, in altezza, al contesto, al contrario un  $H/H_{average}$  inferiore a uno descrive un contesto in cui l'edificio è più basso rispetto al suo contesto; il calcolo della  $H/H_{average}$  è un valore che permette di stimare la capacità degli apporti solari all'edificio.



*Fig.12 paragone tra due diversi andamenti della HH*

## 5.2 Identificazione dei Casi Studio

Come abbiamo visto fino ad adesso la città di Torino è caratterizzata da diverse tipologie di aree metropolitane con conformazioni che possono variare da una zona all'altra evidenziando una morfologia che può variare da nuclei altamente edificati e con alti livelli di densità urbana fin a zone in cui vi sono grandi nuclei di polmoni verdi come parchi ed addirittura zone in cui le aree verdi e le zone ad alta densificate si mescolano fra loro, le analisi che. Ho svolto fino ad ora mi hanno portato ad andare a selezionare delle zone che vi presentino caratteristiche critiche per cui il fenomeno delle isole di calore siano significative ed evidenti; per questo in conformità con gl'indici di BCR e BD ha permesso di restringere la selezione su zone o dove vi sono nuclei dove la densità e la copertura denotino valori molto alti o addirittura nelle zone a ridosso della periferia della città di Torino ove, come abbiamo detto in precedenza si denotano caratteristiche di vasta copertura del suolo.



*Fig.13 cartografia ove vengono individuate le zone caso studio prese come riferimento*

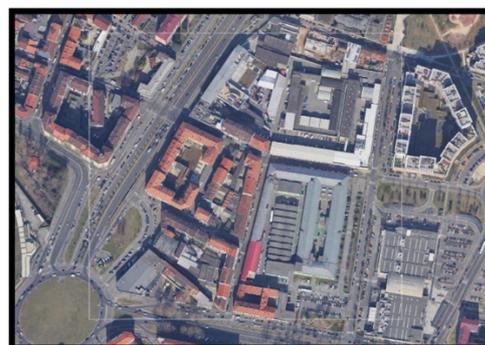
La scelta delle zone prese in esame per poter svolgere le mie analisi approfondite è ricaduta su sei zone specifiche scelte in maniera accurata tenendo conto in un primo momento dei risultati ottenuti dalla LST e dall'Albedo che ha permesso a livello di cartografia di individuare quelle zone ove. Il clima presenta caratteristiche drammatiche per cui il fenomeno delle UHI è particolarmente evidente nel tessuto urbano; come ho riscontrato dallo studio delle UHI e di come si manifesta questo fenomeno compone un fattore importante il tessuto urbano in cui si sviluppa l'UHI e quindi maggiore sarà la densità edificatoria sempre maggiore saranno le. Conseguenze ed il verificarsi di questo fenomeno.

Per questo è stato importante soffermarmi su zone della città ove la percentuale di edificato e di spiazzi aperti realizzati con materiali cementaci rappresentassero la maggioranza e dunque soffermarsi, come si vede nella fig. 13, su zone il più vicino al centro nevralgico della città, infatti, la mia scelta è ricaduta su zone che rispecchiano le caratteristiche fondamentale dei grandi centri abitati ma che dall'altro canto possano presentare caratteristiche che non passano essere ripetitive da una zona all'altra e dunque poter ricavare informazioni e risultati differenti riguardante le isole di calore Urbane per questo si possono contraddistinguere aree che presentano destinazioni differenti che vanno da aree commerciali a zone industriali fino a nuclei prettamente residenziali; questa mia scelta di variare le zone in relazione alle funzioni che in quella determinata area vengono svolte è utile perché mi permetterà di approfondire come l'attività umana svolta in quel determinato contesto urbano possa generare livelli differenti di UHI, di seguito sono riportati un inquadramento delle sei zone che ho voluto prendere in esame:

ZONA 1



ZONA 2



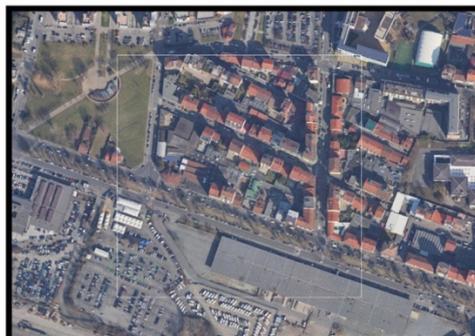
0 50 100 150 200 250m



ZONA 3



ZONA 4



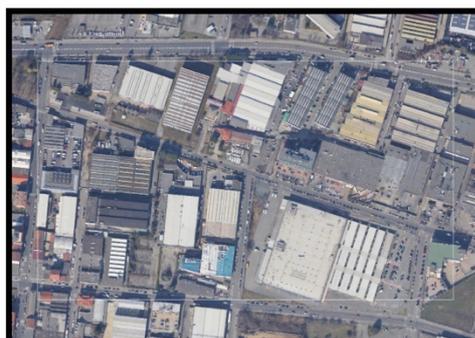
0 50 100 150 200 250 m



ZONA 5



ZONA 6



0 50 100 150 200 250 m



Come possiamo vedere dalle. Sei immagini qua sopra riportate le diverse zone che. Sono state scelte presentano caratteri distintivi che li differenziano l'uno dall'altro e che sono situate in diverse zone del territorio della città di Torino anche in relazione ai dislivelli di temperatura dell'aria e superficiale che li caratterizza; ho voluto inoltre riportare una breve descrizione delle diverse zone prese in esame e delle caratteristiche che le identificano anche per giustificare le motivazioni per cui possano essere ritenute utili per le mie analisi:

- **Zona 1:** Situata nel centro della città di Torino è caratterizzata da un'alta densità edificatoria nello specifico da palazzi storici caratteristici visto il loro posizionamento all'inizio del centro della città, si denota una. Bassa presenza di vegetazione fatta eccezione per una grossa porzione ad est dell'area ed alcune zone nelle corti interne dei palazzi; la scelta della Zona 1 è ricaduta dalla presenza di una piazza situata tra via G. Mazzini e via G. Bodoni, nello specifico per la composizione dei materiali come. Pietra e porfido che compongono la piazza non essendo schermati dal sole possano presentare valori di temperatura superficiale per cui ho ritenuto di approfondire
- **Zona 2:** Questa zona situata più a nord di Torino più nello specifico nei quartieri di Barriera di Milano si presenta come un'area ove troviamo una percentuale significativa di strade cementate caratterizzate da larghe carreggiate a più corsie, si notano anche diverse aree verdi che ho ritenuto utili prendere in considerazione per un potenziale effetto di mitigazione delle isole di calore; un aspetto che contraddistingue quest'area è che rispetto alla zona 1 è la presenza di vasti spiazzi aperti e di strade ha portato a ridurre la presenza di edifici concentrati in nuclei specifici, inoltre a differenza della Zona 1 troviamo fabbricati realizzati in periodi più recenti e dunque con materiali differenti.
- **Zona 3:** Situata a Sud di Torino nelle vicinanze della stazione meteorologica Università di Fisica più precisamente tra Lingotto e San Salvario, per quanto riguarda selezione di questa zona è strettamente motivata da un'alta densità edificatoria e copertura del suolo e dalla presenza di un nucleo centrale caratterizzato da una serie di fabbricati industriali e capannoni realizzati in cemento che. Ho ritenuto interessante analizzare perché possibile fattore per cui vi siano fenomeni di UHI; inoltre un altro fattore che ho riscontrato in questa zona è la totale assenza di zone verdi che è considerabile come un aggravante per questa zona.
- **Zona 4:** Posizionata a ovest di Torino nella zona di Pozzo strada presenta caratteristiche analoghe a quella della Zona 2 nello specifico l'aspetto che più colpisce e che può essere ritenuta come una criticità è la vasta area cementata a sud dell'area riconducibile ad un parcheggio di un'autorimessa che occupa quasi metà della Zona 4 ove in quest'area sono posizionati diversi capannoni; nell'altra metà si contrappongono diverse palazzine residenziali posizionate l'una a ridosso dell'altra e caratterizzati da una rigogliosa presenza di aree verdi e a ovest di questi fabbricati troviamo un parco che costituisce una vera e propria contrapposizione rispetto alle vaste aree aperte cementate ed ai fabbricati edilizi rappresentando un potenziale polmone verde per la mitigazione delle temperature del quartiere.

- **Zona 5:** La scelta di questa zona è ricaduta nel centro nord di Torino nel quartiere residenziale di San Donato, qui troviamo la classica disposizione a griglia della città di Torino ove gran parte delle palazzine presenti ricoprono gran parte degli isolati in cui sono posizionati formando delle corti interne che spesso possono presentare delle aree verdi; osservando la disposizione degli edifici si nota come la distanza tra l'uno e l'altro sia molto più ridotta rispetto alle altre zone anche di più della Zona 1, questo aspetto può essere causa del formarsi di canyon urbani.

Altro aspetto significativo di questa zona la scarsa presenza, causato dall'alta densità edificatoria, di zone verdi che possiamo identificare principalmente in un viale alberato e nei giardini interni alle palazzine; in fine troviamo a nord est della zona caso studio una piccola piazza composta, probabilmente, da cemento usurato e pietra.

- **Zona 6:** In fine l'ultima zona situata all'estremo nord della città Torinese nel quartiere di Madonna di Campagna, questa zona. Rappresenta un caso particolare perché presenta caratteristiche morfologiche e territoriali tipiche delle zone industriali infatti si nota come. In questa zona si nota una prevalenza di capannoni e fabbricati industriali in cemento; infatti, già dalle immagini satellitari qua sopra riportata si nota che vi è un grande uso di cemento questo aspetto non solo è evidente nei fabbricati ma anche nel suolo dove si trovano molte strade e parcheggi cementati.

Questo aspetto, ove gran parte del suolo è cementato, ha portato a creare delle distanze significative tra un fabbricato e l'altro anche in funzione alla loro destinazione d'uso d'altro canto si nota come non vi siano presenti né alberi né aree verdi che compone una criticità per cui ho ritenuto interessante per prossimi approfondimenti nei capitoli successivi.

### 5.2.1 Risultati degli indicatori in conformità agli indici urbani

Una volta determinate queste zone sarà possibile andare a visualizzare e calcolare gli indici urbani precedentemente citati ovvero; H/W, H/H e MOS, come detto in precedenza suddetti indici saranno utili anche verificare determinati fattori per cui possono essere la causa principale del fenomeno delle isole di calore in particolare per quanto riguarda H/H e MOS per individuare gli apporti solari e la H/W per visualizzare quale possa essere l'andamento del vento e quindi se determinate zone presentano o no canyon urbani; Oltre a questi indicatori ho voluto integrare uno studio inerente alla percentuale di aree verdi presenti all'interno di queste zone perché,

come descritto per le singole zone vi sono alcune aree con percentuali molto basse di verde ed altre diametralmente opposte ove troviamo veri e propri polmoni verdi per questo ho voluto individuare la percentuale degli alberi suddividendoli per altezza ovvero: 5 metri, 10 metri, 15 metri e 20 metri.

Oltre agli alberi sono stati presi in esame anche i valori percentuali di quante aree verdi fossero presenti nelle diverse zone ed ho ritenuto utile dunque metterli in relazione ai valori già calcolati in precedenza della NDVI; oltre a questi parametri sono stati contrapposti anche altri valori, in relazione sol alle zone caso studio per cui abbiamo già svolto delle. Analisi nei capitoli precedenti ovvero: il vicino IR Albedo, l'albedo visibile e gl'indici urbani BCR e BD

	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	Area 6
Area (m2)	118889,38	140469,1	140505,6	90061,27	138746,1	188175,4
MOS	0,9	0,9	0,9	1,3	1,1	0,9
H/Havg	1.00	1.33	0,61	1,18	1,16	1,08
BCR (m2/m2)	0,72	0,5	0,51	0,43	0,54	0,54
BD (m3/m2)	12,81	5,17	7,29	3,53	8,16	8,16
H/W	1,45	0,72	0,75	0,52	1,09	0,48
Near-IR Albedo (%)	10,58	9,25	10,54	12,06	10,3	12,88
	10,4	11,14	11,03	12,42	10,52	13,36
Visible Albedo (%)	9,18	10,68	10,47	10,55	10,07	11,45
	10,13	10,87	10,69	10,87	10,12	13,05
NDVI	0,064	0,116	0,104	0,143	0,084	0,103
Aree Verdi(%)	0,92	4,01	3,49	9,36	0,01	3,06
Alberi alti 5 metri (%)	0	51,6	1.00	15,49	6,25	0
Alberi alti 10 metri (%)	0	16,13	21	30,99	15,63	0
Alberi alti 15 metri (%)	0	6,45	61	21,13	46,88	0
Alberi alti 20 metri (%)	0	25,81	17	32,39	31,25	0

Dai risultati di questa tabella si nota come che dai risultati calcolati per singole zone inerente il MOS si nota come gran parte delle zone hanno in comune lo stesso orientamento nello specifico le Zone 1, 2, 3 e 6 che in conformità all'orientamento verso Nord presentano valori di 0,9 e dunque un apporto solare molto simile fra loro; molto diversi sono i risultati dell'indice MOS delle Zone 4 e 5 che presentano valori di orientamento rispettivamente di 1,3 per la Zona 4 e di 1,1 per quanto riguarda la Zona 5; per quanto riguarda i valori di H/Havg troviamo che i valori generali di questo calcolo dimostra che facendo esclusione per la Zona 3 tutte altre zone presenti presentano sempre valori pari o superiori a 1,00, mentre al contrario la Zona 3 presenta un valore.

di  $H/H_{avg}$  di 0,61 e quindi una media di edifici con altezze molto simili fra di loro e che presenterà un apporto solare molto inferiore rispetto alle altre zone.

Al contrario in relazione al calcolo dell'Aspect Ratio delle diverse zone è stato utile per individuare le zone ove sono presenti Canyon Urbani e dunque l'intensità con cui si verificano in suddette zone, questo calcolo è stato svolto per le singole zone andando a calcolare una media di questo valore, i risultati della  $H/W$  mi permetteranno anche di suddividere le zone in relazione a caratteristiche morfologiche zone in cui i canyon urbani sono molto profondi e stretti in relazione all'altezza e alla stretta vicinanza degli edifici; dunque si può affermare che le zone ove vi sono presenti in fenomeni di Canyon Urbani sono la Zona 1 e 5 con dei valori rispettivamente di 1,45 per la zona 1 e 1,09 per la zona 5, è chiaro dai risultati come la prima zona rispetto alla seconda presenta valori di canyon urbani molto più elevati anche in relazione alla presenza di strade più strette rispetto alla Zona 5 ove le carreggiate sono più larghe e nonostante le altezze simili degli edifici questo fenomeno nell'ultima area risulta meno grave.

Al contrario le altre aree presentano valori per la quale o vi sono fenomeni regolari di canyon urbani o addirittura molto bassi, nello specifico troviamo come le Zone 2 e 3 abbiano valori molto simili tra di loro ovvero di 0,72 per la zona 2 e di 0,75 per quanto riguarda la zona 3, nonostante questo entrambe le zone presentano caratteristiche analoghe per la quale entrambe le zone potrebbero presentare valori significativi Canyon Urbani, ma vista la volontà di voler determinare una media generale del valore della  $H/W$  in generale la presenza di zone ove il rapporto dell'Aspect Ratio sono molto basse ne ha derivato che nell'interesse zone 2 e 3 vi sia la presenza di valori medi di Canyon Urbani e dunque non viene trattenuto troppo il calore e l'aria circola in maniera più fluida; in fine le altre due aree rimaste presentano valori che sono al di sotto del 0,5 e dunque presentano fenomeni significativi di canyon Urbani e quindi si delinea come detto già nel rapporto  $H/H_{avg}$  e negli indici BD e BCR vi siano edifici relativamente bassi e con relativamente vaste aree che li separano l'uno dall'altro, anche a confronto delle altre zone prese in esame.

### **5.2.2 Classificazione dei Casi studio**

Le zone prese in esame per i miei studi presentano caratteristiche per il quale siano diverse l'uno dall'altro per il quale sarà possibile trarre considerazioni differenti, infatti, come abbiamo già visto nel calcolo degli indici urbani vi sono determinate zone ove sono presenti fenomeni di canyon urbani ed altre ove le caratteristiche per la quale le UHI si formino ovvero alta densità edificatoria, assenza di verde e vaste aree aperte caratterizzate da un suolo cementato; infatti ho voluto

suddividere queste sei zone in due macro che sono zone caratterizzate ad alta densità edificatoria e canyon urbani e l'altra macro zona ove sono presenti vaste aree e spiazzi cementati, ove troviamo nella prima macro zona la zone 1, 3 e 5 invece per quanto riguarda la seconda macro zona troviamo le zone 2, 4 e 6.

### Zone ad alta densità edificatoria e con presenza di Canyon Urbani

Zona 1



Zona 3



Zona 5



È evidente da questo macro-gruppo, e come. Abbiamo già visto dal calcolo delle H/W che queste tre aree son quelle ove il fenomeno dei canyon urbani si manifesta in maniera evidente visto la presenza di queste strade strette accostate da palazzi molto alti che fanno in modo di trattenere il calore all'interno di queste zone; d'altronde si nota come questo fenomeno è particolarmente evidente Zone 1 e 5 che come ho dimostrato nel calcolo delle H/W presentano i valori più alti al contrario della Zona 3 che si presentano fenomeni di canyon urbani e caratteri morfologici molto

simili alle altre 2 zone ma se si va a vedere i valori son nettamente più bassi rispetto alle zone situate nel centro di Torino e di San Salvario; addirittura i valori di canyon urbani della zona 3 sono la metà della Zona 5, d'altro canto se si osserva il report fotografico della zona 3 si notano comunque che le caratteristiche morfologiche rispecchiano le caratteristiche urbane per la quale possa formarsi questo fenomeno.

In fine l'altro aspetto per i quali queste quattro zone presentano aspetti che li fanno rientrare nello stesso macro-gruppo riguarda la densità edificatoria di questi edifici infatti in relazione al calcolo della Building Density troviamo come la media delle sezioni di censimento presentino valori che vanno da 8,00 ai 12,00 massimi e dunque come si nota dalle immagini satellitari una superficie che è coperta per la maggior parte da edifici a discapito quindi di una limitata presenza di spazi aperti e di conseguenza di uno Sky View Factor Assente.

### Zone con presenza di spazi e aree in cemento

Zona 2



Zona 4



Zona 6



Invece per quanto riguarda il secondo macro-gruppo troviamo come la caratteristica che si demarca maggiormente in entrambe. Le zone 2, 4 e 6 è la presenza , appunto, di vaste aree e spiazzi aperti in cemento, suddette aree sono identificabili come parcheggi, spazi di manovra, piazze e strade a più carreggiate; nello specifico troviamo come l'elemento di demarcazione che troviamo in tutte le zone sono innumerevoli parcheggi cementati, ove troviamo il caso estremo della zona 4 dove un parcheggio, adibito ad autorimessa, va a ricoprire quasi la metà dell'area presa in esame per le analisi, e messo a confronto con gli altri elementi simili presenti nelle zone 2 e 6 risultano relativamente di dimensione. Inferiore.

Al contrario troviamo come le zone 2 e 4 presentano caratteristiche comuni per quanto riguarda le aree verdi, infatti, si nota come il tessuto urbano della città va a contrapporsi a quello di parcheggi e piazze e dunque ho ritenuto interessante approfondire un confronto tra queste due tipologie, e se appunto queste zone verdi potessero costituire una fonte di mitigazione climatica o al contrario se l'alta percentuale di aree e spiazzi cementati hanno portato le aree verdi a non avere nessun ruolo sul clima di queste zone; in fine per quanto riguarda la zona 6 si nota come vi sia una percentuale molto bassa di vegetazione e una totale assenza di alberi, infatti si nota come a livello morfologico vi sia una prevalenza di spiazzi e zone ove si distinguono vari spiazzi di manovra ed parcheggi anche in funzione della destinazione d'uso prettamente industriale e per lo scarico e carico merci.

Un altro aspetto che si nota, anche dal report fotografico di quest'ultima zona è lo stato conservativo della strada evidentemente usurato o comunque di vecchia fabbricazione e quindi può essere un fattore fondamentale che può influenzare valori della LST o dell'albedo, anche. I capannoni ed i fabbricati industriali evidentemente datati forniscono un fattore che va ad incentivare questo fenomeno.



## 6 Studio delle UHI su diversi contesti urbani

### 6.1 Confronto della NDVI con la percentuale di aree verdi urbane

Come abbiamo visto dall'analisi precedente svolta sulle singole zone del caso studio si è riscortato come la presenza di aree verdi costituisca un fattore importante come variabile del tessuto urbano della città, per questo la presenza di vegetazione in città ha un ruolo di mitigazione dell'isola di calore, che ha un valore ancora più determinante nel periodo estivo, quando in città le temperature dell'aria tendono a mantenersi alte anche durante le ore serali, ed è anche per questo che la mia tesi si sofferma su un confronto di due periodi estivi in anni differenti.

Il verde, dunque, ha un ruolo fondamentale nella mitigazione dell'UHI, infatti, questi valori se confrontati con l'albedo presentano valori di inerzia termica diversi dal materiale artificiale urbano, oltre a contenere una elevata concentrazione di acqua.

Per quanto riguarda l'albedo, nel caso di vegetazione spontanea nelle città, è mediamente più basso delle zone rurali, fino a valori inferiori al 5% nel caso di superfici asfaltate; avendo un albedo maggiore, le aree verdi immagazzinano meno energia rispetto alle aree urbane, che viene poi riemessa soprattutto sotto forma di calore latente, inoltre, gran parte dell'energia che assorbono viene utilizzata dalle piante stesse per i propri processi vitali, per cui la parte di radiazione che viene da loro riemessa diminuisce ulteriormente.

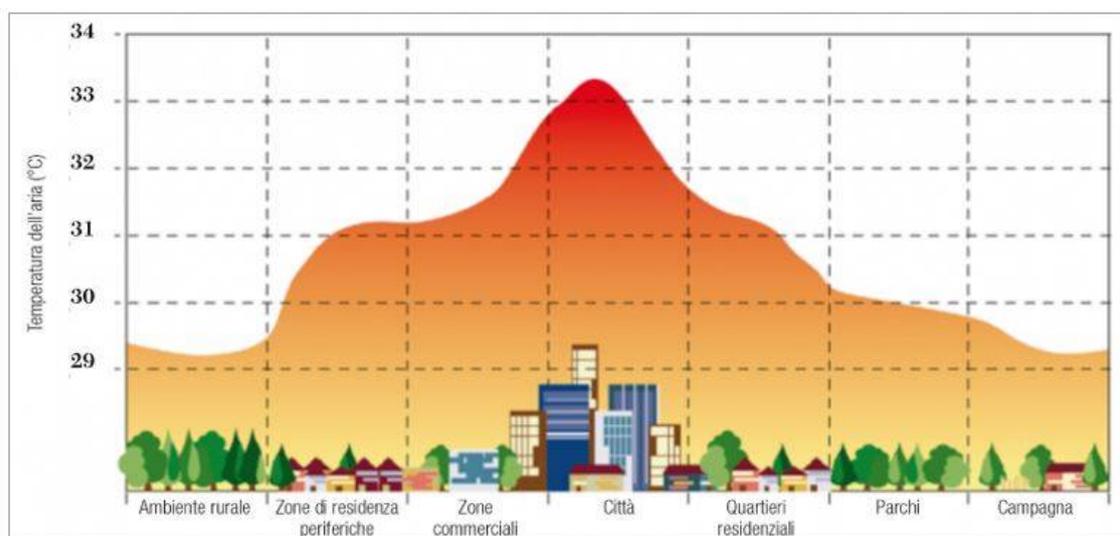


Fig. 14 confronto fenomeno UHI nei giorni estivi tra zone verdi e zone urbane ad alta densificazione

I valori più bassi di albedo si traducono in un maggiore assorbimento della radiazione solare da parte dei materiali artificiali che hanno, inoltre, la capacità di cedere il calore molto lentamente. Questa emissione nell'infrarosso viene in parte intrappolata nei *canyon* urbani e quindi riassorbita dai materiali con cui questi sono costruiti, per poi essere nuovamente ceduta sotto forma di ulteriore calore: questo processo, detto *effetto canyon*, aumenta nelle zone della città in cui i palazzi sono più alti e numerosi e dove le aree verdi sono assenti o in numero limitato.

D'altro canto, prima di svolgere questo confronto tra albedo dei due periodi estivi rispetto le diverse tipologie di suolo presenti nel territorio si deve rendere noto anche quale sia il livello di verde presente nelle diverse aree prese in esame, inoltre, a porre una quantificazione dettagliata dei valori di verde presente nelle diverse aree si è voluto accostare a questa serie. Di considerazioni anche. I risultati puntuali ottenuti dalla NDVI; questo parametro come ho già visto in precedenza tiene anch'esso dei valori dell'infrarosso rilasciati dalle piante, quindi l'NDVI valuta la presenza di attività fotosintetica, mettendo in relazione lo spettro del rosso, in cui c'è assorbimento da parte della clorofilla, e quello del vicino infrarosso in cui le foglie riflettono la luce per evitare il surriscaldamento.

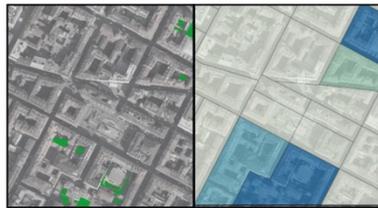
Per questo lo studio inerente questi due aspetti correlati fra di loro sono stati studiati singolarmente per ogni singola area realizzando delle cartografie tematiche per la quale inquadrare ove fossero presenti le aree verdi; per questo per svolgere questo confronto sarà utile sfruttare Quantum Gis ed un immagine satellitare delle aree interessate in particolare quest'ultima verrà usata per poter quantificare concretamente quali siano le aree coperte da vegetazione e parchi, questa prima fase di studio serve anche per sapere, rispetto all'area totale della zona di interesse, quanto sia la superficie verde complessiva.

Successivamente è stato calcolato anche i valori percentuali di verde in conformità delle differenti sezioni di censimento, per svolgere questo calcolo verrà in contro il software Quantum GIS che permetterà di prendere i valori precedentemente calcolati delle aree delle zone. Verdi misurati in m<sup>2</sup> e tramite l'utilizzo del tools calcolatore raster sarà possibile implementarli come informazioni aggiuntive all'interno del file raster delle sezioni di censimento, questo permetterà di calcolare i valori percentuali delle aree verdi delle diverse zone caso studio.

La volontà di calcolare i valori percentuali delle diverse sezioni di censimento permetterà di svolgere un confronto diretto con le informazioni della NDVI già integrati alle stesse sezioni di censimento anche per poter fare un confronto coerente dei due. Valori per ogni singola. Sezione. Di censimento delle sei aree.

## Risultati valori NDVI e Aree verdi per censimento

Aree Verdi Zona 1



0 1 2 3 4 5 m

**Legenda**

Aree Verdi (%)  
 0.0 - 0.0  
 0 - 1,6  
 1,6 - 3,1  
 6,3 - 7,8



NDVI Zona 1



0 1 2 3 4 5 m

**Legenda**

Caso studio  
 NDVI  
 0,0243 - 0,0426  
 0,0426 - 0,0543  
 0,0543 - 0,0615  
 0,0615 - 0,0715  
 0,0715 - 0,0914  
 0,0914 - 0,117



Aree Verdi Zona 2



0 1 2 3 4 5 m

**Legenda**

Aree verdi (%)  
 0.0 - 0.0  
 0 - 1,2  
 1,2 - 3,5  
 3,5 - 9  
 9 - 17,2  
 17,2 - 57,5



NDVI Zona 2



0 1 2 3 4 5 m

**Legenda**

Caso Studio  
 NDVI  
 0,047 - 0,08  
 0,08 - 0,092  
 0,092 - 0,102  
 0,102 - 0,113  
 0,113 - 0,165  
 0,165 - 0,21



Aree Verdi Zona 3



0 1 2 3 4 5 m

**Legenda**

Aree Verdi (%)  
 0.0 - 0.0  
 0 - 0,69  
 0,69 - 5,16  
 5,16 - 10,29  
 10,29 - 22,84  
 22,84 - 69,66



NDVI Zona 3



0 1 2 3 4 5 m

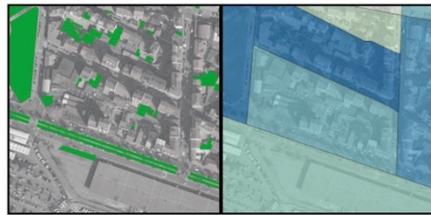
**Legenda**

Caso Studio  
 NDVI  
 0,053 - 0,067  
 0,067 - 0,079  
 0,079 - 0,106  
 0,106 - 0,117  
 0,117 - 0,153  
 0,153 - 0,189



## Risultati valori NDVI e Aree verdi per censimento

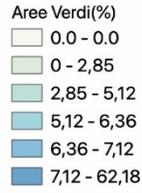
Aree Verdi Zona 4



0 1 2 3 4 5m



Legenda



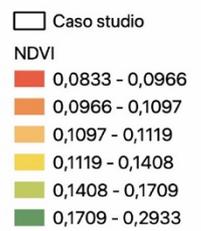
NDVI Zona 4



0 1 2 3 4 5m



Legenda



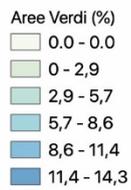
Aree Verdi Zona 5



0 1 2 3 4 5m



Legenda



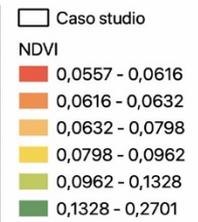
NDVI Zona 5



0 1 2 3 4 5m



Legenda



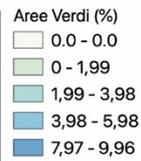
Aree Verdi Zona 6



0 1 2 3 4 5m



Legenda



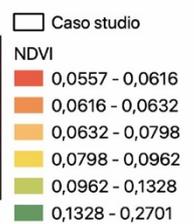
NDVI Zona 6



0 1 2 3 4 5m



Legenda



Dalle immagini è evidente come vi sono diverse percentuali di verde nelle zone prese in esame ma che comunque per le caratteristiche morfologiche della città di Torino ed in generale delle grandi metropoli si denota come vi sia una percentuale considerevolmente bassa di aree verdi e di cui in alcuni casi non vi è nemmeno la presenza alcuna di alberi; inoltre, se si va a confrontare singolarmente ogni singola zona si nota come le zone dove si riscontrano valori percentuali maggiori di zone verde sull'intera area di studio sono appunto la Zona 2 e la Zona 4 dove rispettivamente troviamo valori percentuali di 4,01% per la prima e 9,36% per la seconda ed in vece valori della NDVI di 0,116 per la zona 2 e di 0,134 per la zona 4, nonostante ciò è evidente che siano dei valori relativamente rispetto alla percentuale risultante di strade asfaltate, piazze ed edificato ed apparentemente non risultano essere dei valori sufficienti per ridurre il surriscaldamento dell'intera area o quanto meno riuscire ad assorbire i raggi dell'infra rosso e del vicino rosso nell'area limitrofa ad essa.

D'altro canto, se andiamo a prendere singolarmente queste aree osservando la suddivisione delle sezioni di censimento delle zone 2 e 4 va a trovare un senso per quanto detto che le caratteristiche di mitigazione delle diverse aree verdi possono avere un ruolo fondamentale nel ridurre i valori della LST, temperatura dell'aria ed albedo, nello specifico troviamo che i valori più considerevoli della NDVI delle singole sezioni di censimento sono tra il 0,15 ed il 0,3 e quindi una copertura di verde che va oltre il 50% per le diverse zone di censimento; le parti di tessuto urbano ove troviamo percentuali significative di suolo coperto da vegetazione nelle Zone 2 e 4 sono: per quanto riguarda la prima area quasi solo ad est ove il verde si trova principalmente in prossimità di una strada con più carreggiate e per la quale si nota come verde e tessuto stradale si mescolano fra di loro andando dunque a svolgere un ruolo di mitigazione del surriscaldamento delle strade e quindi evitare discomfort per gli edifici limitrofi, al contrario per quanto riguarda la Zona 4 troviamo come. Si va a formare una vera e propria barriera vegetale attorno alla zona residenziale e quindi separando questa categoria urbana dall'area sottostante che costituisce una grande criticità.

Della zona 4 rispetto alla 2 troviamo che vi sia presente una percentuale maggiore di verde inoltre essendo che la barriera vegetale di cui abbiamo parlato prima è composta principalmente da un parco e da un viale alberato anche la percentuale di alberi è nettamente superiore rispetto alla zona 2; questa caratteristica dell'area situata a nord della città di Torino compone un fattore ancora più favorevole per la mitigazione del fenomeno delle UHI e inoltre giustificerebbe i valori nettamente più alti di NDVI rispetto alle altre zone ovvero raggiungendo un massimo di 0,29 nei pressi della zona di censimento ove è posto il parco.

Per quanto riguarda le altre zone si riscontrano valori molto più bassi anche. In relazione alla morfologia. In cui si trovano infatti prendendo in esame le zone 5 ed 1 ma anche la zona 3, in

proporzione molto diversa, si nota come le aree verdi siano principalmente individuabile all'interno delle corti dei palazzi e dunque in funzione della mitigazione temperature dei residenti ed occupanti dei fabbricati ove si trova il verde, dunque in funzione a future considerazioni è evidente come sarà più probabile che i fenomeni delle isole di calore sarà più evidente nelle strade rispetto alle zone interne degli dei palazzi; questo aspetto è fortemente giustificato dal fatto che in queste zone ove non vi è verde pubblico nelle strade è causato dal fatto dall'alta densità e copertura del suolo da parte di fabbricati, questo aspetto comporta la difficoltà di inserimento di aree verdi e parchi in queste zone e dunque impedisce di avere un fattore valido per la mitigazione delle UHI

Troviamo un altro aspetto che identifica queste zone ovvero la presenza di alcuni spiazzi ove è stato favorito la realizzazione di spiazzi realizzati in cemento, pietra o porfido che di per se vanno ad aggravare la situazione e a creare degli epicentri ove la temperatura è nettamente più alta, infatti se andiamo ad osservare i valori di NDVI di queste singole zone troviamo come le piazze costituiscono le aree dove troviamo i valori più bassi di colore rosso e nello specifico queste sezioni di censimento hanno valori di: 0,042 per la zona 1, 0,056 per quanto riguarda la zona 3 e di 0,057 per la zona 5; queste zone possiamo notare che come già detto in precedenza vanno ad aggravare su diversi parametri che possono influenzare la qualità della temperatura e di comfort di diverse zone all'interno del tessuto urbano.

A discapito di ciò rispetto alla media generale della NDVI e ai valori percentuali generali della copertura vegetale sull'intero suolo se andiamo ad esaminare per le singole sezioni di censimento notiamo come i valori massimi, per sezione, della NDVI non risultano così basse rispetto alle Zone 2 e 4 infatti troviamo come le NDVI delle sezioni di censimento, con livelli alti di verde, delle Zone 1, 3 e 5 sono rispettivamente di: 0,11 per la zona 1, 0,15 per la Zona 3 e di 0,13 per la Zona 5; si nota infatti dai risultati delle cartografie individuali come i valori più alti di NDVI delle Zone 3 e 5 sono riconducibili al fatto che il verde è solo parzialmente individuabile nelle parti residenziali e si nota alcune parti pubbliche nonostante l'alta densità edificatoria che rende. Difficile. L'inserimento di zone verdi, al contrario la Zona 1 identifica le aree verdi univocamente all'interno delle corti degli edifici e da come si nota dalla cartografia della NDVI si notano solo 2 sezioni di censimento verdi che identificano questa tipologia di area.

In fine troviamo probabilmente l'area, che per quanto riguarda la vegetazione e la morfologia urbana, gli aspetti con caratteristiche più critiche vista la bassa presenza di aree verdi, infatti, se esaminiamo i valori ottenuti dalle singole zone di censimento troviamo soltanto un'area ove vi è una piccola porzione di verde con valori della NDVI di 0,13 ma che tenendo conto della morfologia della zona non può portare alcun apporto positivo per ridurre il surriscaldamento dei materiali o comunque mitigare il fenomeno delle UHI, infatti se osserviamo le altre zone si nota

come la maggioranza delle sezioni di censimento presentino valori di NDVI medi che vanno da 0,09 fino ad un valore minimo di 0,052 a confermare questo aspetto troviamo come, i valori percentuali per zone di censimento non vadano oltre l'1% di seguito è riportata una tabella con i valori minimi e massimi della NDVI e aree verdi delle singole zone caso studio:

	NDVI		Aree verdi (%)	
	min	max	min	max
<b>Zona 1</b>	0,024	0,112	0	7,8
<b>Zona 2</b>	0,047	0,165	0	57
<b>Zona 3</b>	0,053	0,189	0	69
<b>Zona 4</b>	0,093	0,170	0	62
<b>Zona 5</b>	0,081	0,135	0	14
<b>Zona 6</b>	0,061	0,132	0	9,9

## 6.2 Confronto valori Albedo

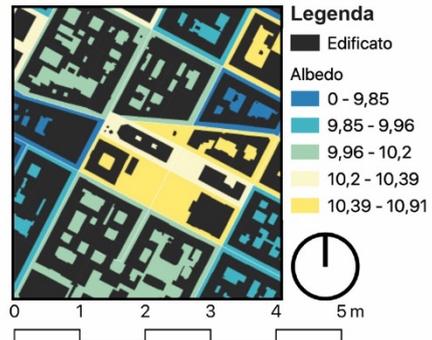
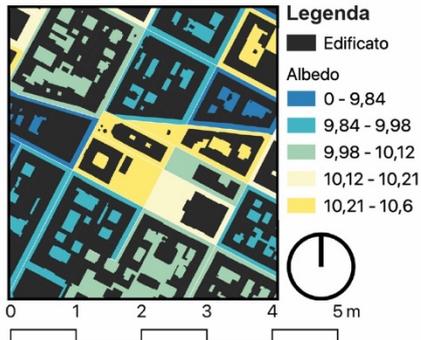
Il confronto fatto delle diverse tipologie di verde presente all'interno del caso studio rispetto ai valori della NDVI mi ha permesso di stabilire quale fosse il livello di verde presente nel territorio dei diversi casi studio presi in esame e poter dunque ipotizzare, dalla loro conformazione, copertura del suolo e presenza o no di alberi se potessero essere o no dei potenziali polmoni verdi per assorbire le radiazioni solari e mitigare il fenomeno delle UHI; per questo in conformità a quanto abbiamo citato nel capitolo precedente è stato utile tenere da conto il stretto rapporto che c'è tra la NDVI ed i valori dell'albedo delle diverse superfici infatti maggiore sarà la presenza di vegetazione nell'area meno saranno le possibilità di trovare valori dell'albedo delle altre superfici troppo elevati che possono portare a casi anomali di albedo urbano che può essere una delle cause della formazione di UHI e canyon urbani.

Per svolgere questa parte di analisi è stato utile tenere da conto i precedenti dati realizzati per quanto riguarda l'albedo Visibile e il vicino IR albedo andando a fare uno zoom della cartografia tematica della città metropolitana di Torino su queste zone caso studio facendo un confronto sui due periodi di riferimento estivi del 2021 e del 2022 valutando quale fosse l'apporto generato dalla vegetazione e dalle aree verdi ma anche vedere quali altre superfici possano essere dei

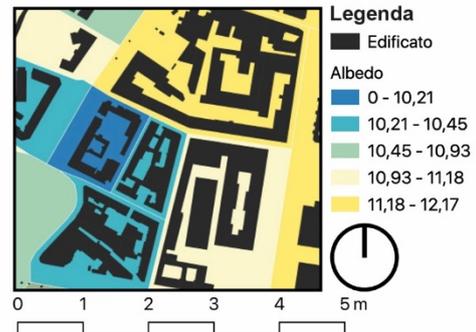
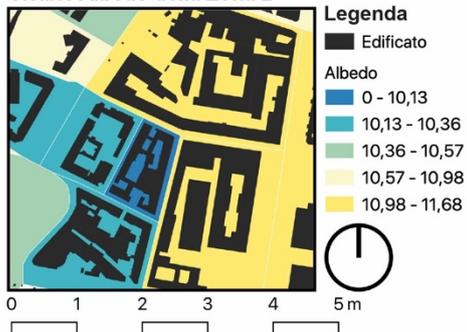
fattori per la quale vanno a provocare una variazione o riduzione dell'albedo e che di conseguenza sia un fattore influenzante per le UHI, anche. In questo confronto si tiene conto della suddivisione per sezioni di censimento.

### Confronto Albedo visibile tra il 14/08/2021 e il 01/08/2022

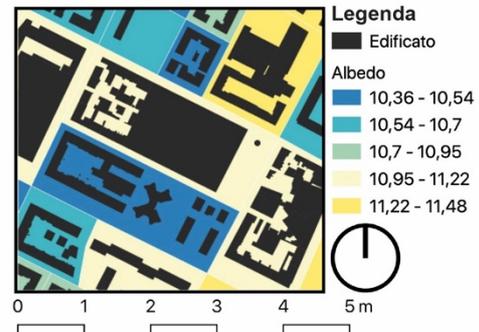
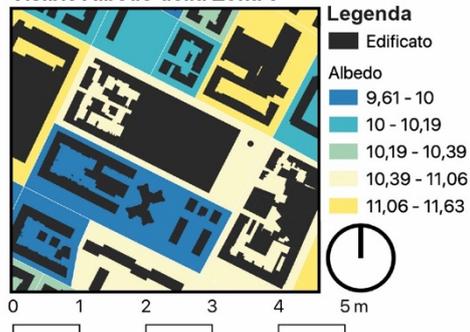
Visible Albedo della Zona 1



Visible Albedo della Zona 2

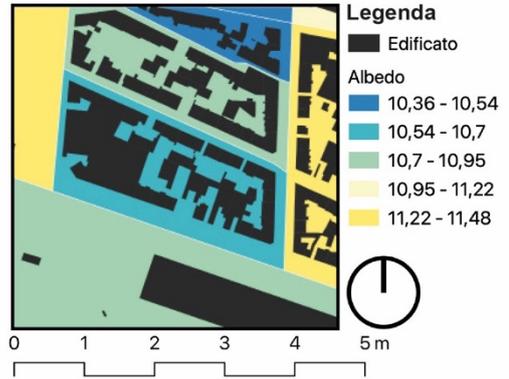
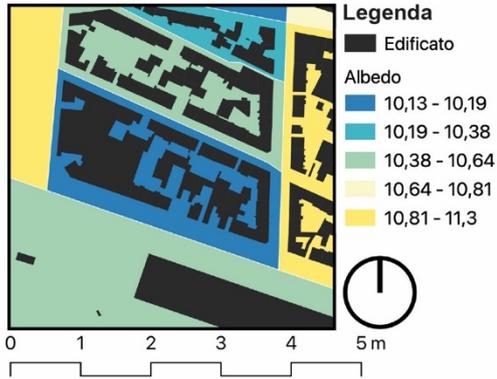


Visible Albedo della Zona 3

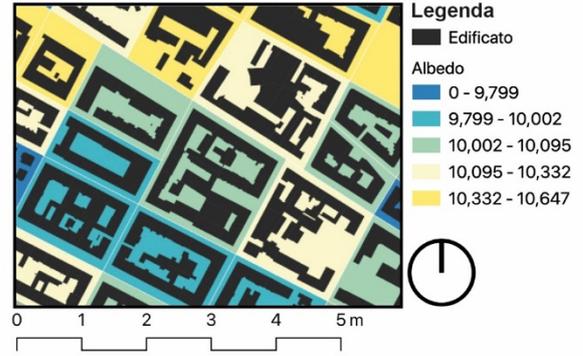
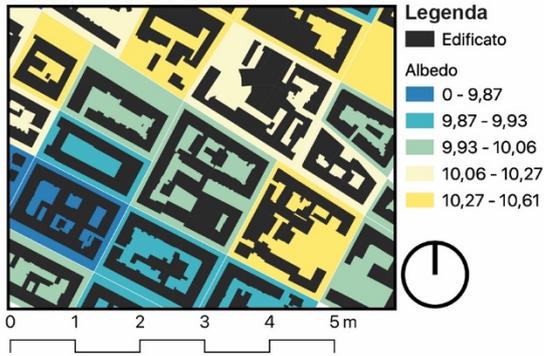


Confronto Albedo visibile tra il 14/08/2021 e il 01/08/2022

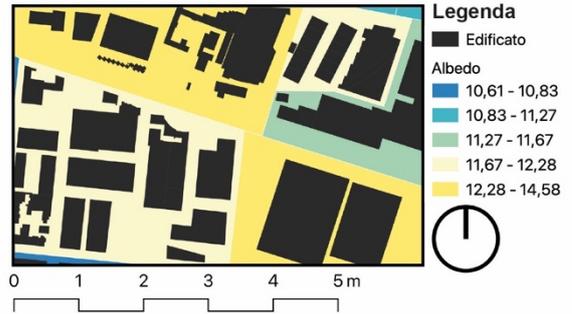
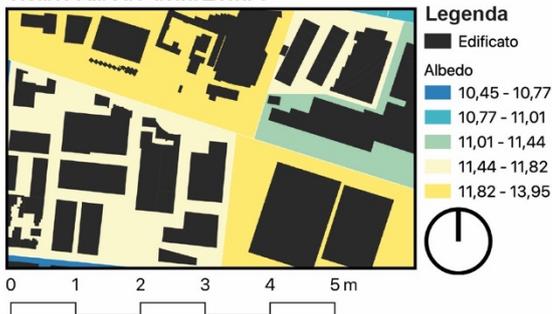
Visible Albedo della Zona 4



Visible Albedo della Zona 5

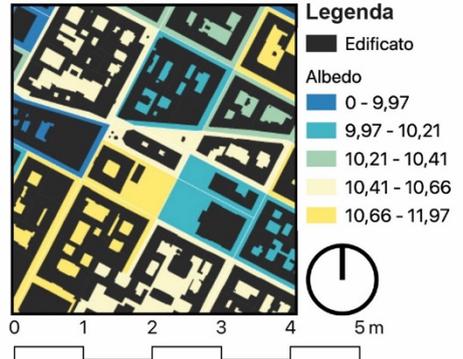
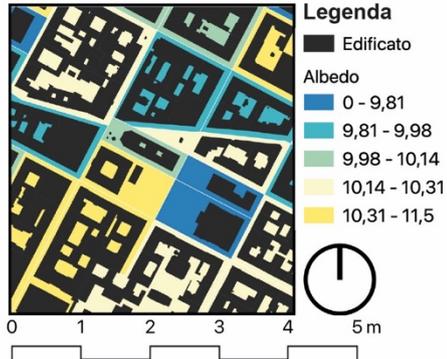


Visible Albedo della Zona 6

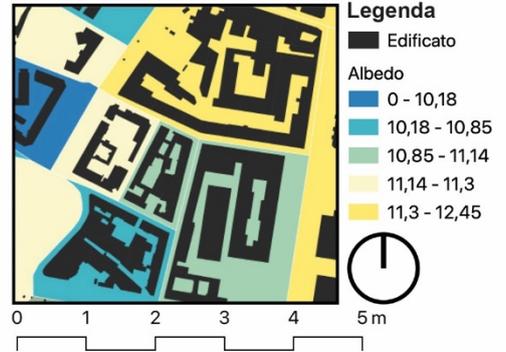
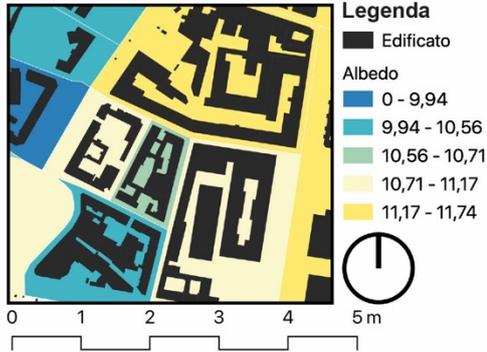


Confronto Vicino IR Albedo tra il 14/08/2021 e il 01/08/2022

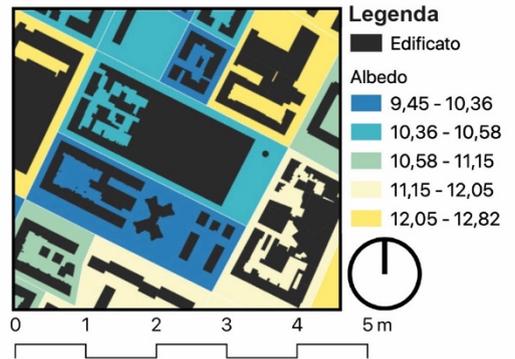
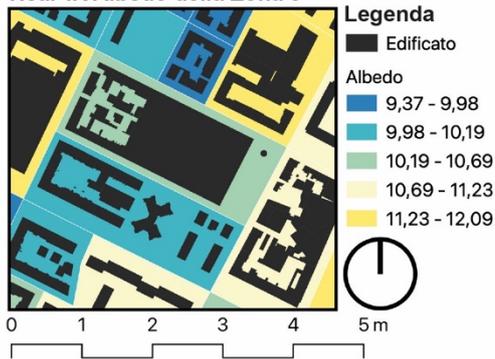
Near-IR Albedo della Zona 1



Near-IR Albedo della Zona 2

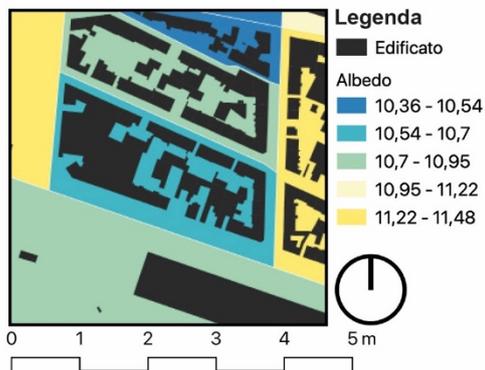
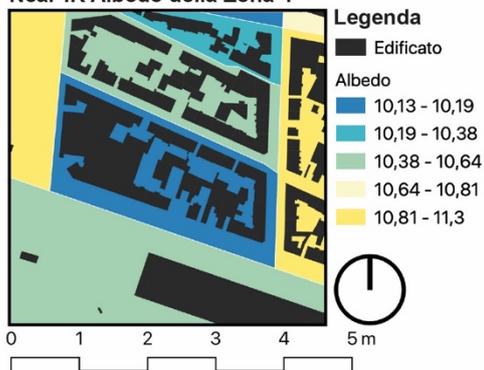


Near-IR Albedo della Zona 3

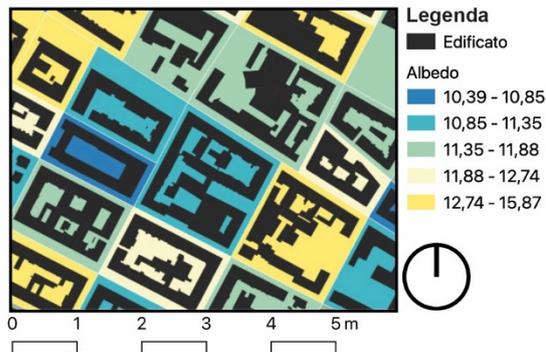
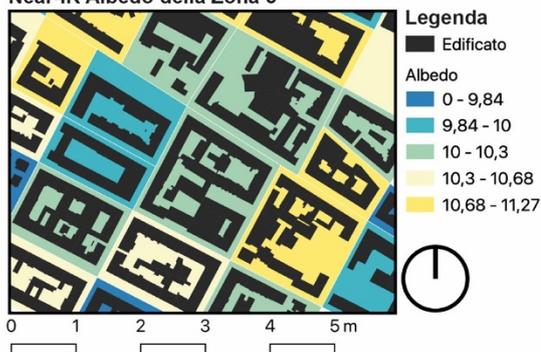


Confronto Albedo visibile tra il 14/08/2021 e il 01/08/2022

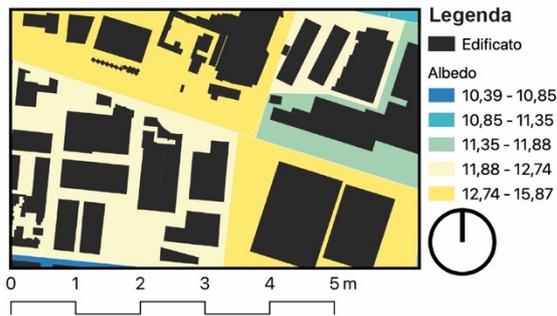
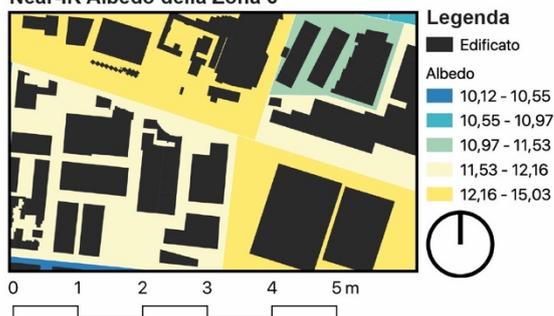
Near-IR Albedo della Zona 4



Near-IR Albedo della Zona 5



Near-IR Albedo della Zona 6



Anche per quello che riguarda questo inquadramento mirato del fenomeno dell'albedo nelle diverse zone caso studio i rispettivi risultati che si sono ottenuti sia per l'Albedo visibile che per il vicino IR albedo tengono conto di un'unità di misura percentuale (%); è evidente che osservando i risultati di questo calcolo come alcune zone hanno subito una variazione dei valori dell'albedo anche se suddetta variazione è limitata, come quanto già affermato ove i valori di NDVI sono più bassi o addirittura, in alcuni casi, nelle aree limitrofe alle aree verdi, ciò significa che questa variazione non ha portato dei benefici in conformità dell'azione di mitigazione della vegetazione urbana, al contrario nelle aree ove è presente il verde ha mantenuto i valori percentuali invariati nel 2022 rispetto al 2021.

Tra queste quelle per la quale si nota un marginale miglioramento sono le Zone 3 e 5 della del vicino IR albedo ove se andiamo a vedere questo cambiamento per zone di censimento si nota come le aree verdi sono riuscite ad assorbire radiazioni del vicino infrarosso che ha portato ad una riduzione dei valori dell'albedo tra il 2021 e il 2022; entrando nello specifico di questi due singoli casi particolari, anche perché si può notare come queste uniche zone di censimento ove si è verificato un marginale abbassamento dei valori dell'albedo sono caratterizzati da un'alta densità e copertura del suolo da parte di edifici e dovrebbe usualmente portare un incremento dei valori e delle temperatura della LST, ma al contrario in questa unica casistica la presenza, anche se limitato, del verde ha portato ad abbassare i valori dell'albedo; nello specifico troviamo che nella zona 3 l'albedo si è abbassato del 0,48% nel 2022 ed invece per quanto riguarda la zona 5 si nota che c'è stato un abbassamento del 1% nel 2022.

Fatta eccezione di questo unico lato positivo la zona 3 come anche la zona 1 e la 6 sono le zone ove si trovano i picchi maggiori di incremento di valori della LST tra il 2021 ed il 2022 durante il periodo estivo; infatti, troviamo come durante analisi la zona che presenta i valori maggiori tra queste tre sono la 3 e la 6 ove sono accumulati dalla totale assenza di alberi e valori percentuali molto bassi di verde inoltre la presenza significativa di materiali come. Cemento e. pietra porta durante diversi cicli estivi ad avere un aumento delle temperature e degli altri valori intrinseci dei materiali; entrando nello specifico troviamo come nella zona 3 vi è stato un incremento del albedo visibile del 0,1% al contrario troviamo un aumento dell'1% generale per quanto riguarda i valori del vicino IR albedo al contrario se andiamo a vedere i valori della zona 6 si nota come vi è stato un aumento dei valori dal 2021 al 2022 del quasi 0,70% per quanto riguarda l'albedo visibile e del 0,78% per quanto riguarda il visibile IR albedo.

Come già visto in precedenza la zona 6 costituisce una zona nevralgica per la quali i valori climatici tra il 2021 ed il 2022 hanno subito cambiamenti negativi nettamente superiori rispetto alle. Altre zone, inoltre si si confronta i valori medi dell'albedo visibile del vicino IR albedo della zona 6 rispetto alle altre zone si nota come il primo è più alto del 2,3% e invece per la seconda tipologia

di albedo addirittura del 2,5% ( fatta esclusione per la zona 3 che essendo una delle zone con valori più critici risulta una differenza rispetto la zona 6 solo del 1,2%) dunque è chiaro come già nella data di riferimento iniziale del 2021 si riscontrano valori elevati a causa del tipo di materiale presente infatti gran parte dell'area, essendo una zona industriale presenta materiali considerevolmente datati e con proprietà per la quale non è possibile ridurre i valori della temperatura superficiale e dunque evidente la presenza di fenomeni di albedo urbano su gran parte. della zona.

In fine un'altra criticità che si nota questo studio legato all'albedo visibile e vicino IR riguarda le Zone 2 e 4 ove vi sono presenti significative aree verdi addirittura nella zona parco è già stata constatata la. Rigogliosa presenza di alberi ed addirittura il calcolo della NDVI aveva dimostrato per zone di censimento che vi fossero percentuali alte di verde in diverse parti addirittura superiori al 50%; in fatti si nota, purtroppo come nelle sezioni di censimento ove troviamo aree verdi hanno avuto un incremento dell'albedo del circa 0,40% per entrambe le due tipologie nell'agosto del 2022 sia per la zona 2 che per la zona 4; al contrario le sezioni di censimento limitrofe alle aree verdi hanno subito una variazione percentuale del 0,1% per entrambi gli albedo per la zona 2 e del 0,4% per la zona 4, quindi si può affermare come in queste zone, rispetto alla Zona 6, presenta valori di albedo e caratteristiche morfologiche per la quale risulta improbabile o in casi estremi in presenza lieve di tipologie di albedo urbano e dunque le problematiche più significative per la quale vi si manifestino fenomeni di UHI in queste altre zone sono riconducibili ad altri fattori.



## 7 Calcolo Indice UTFVI

### 7.1 UTFVI

L'Urban Thermal Field Variance Index (UTFVI) è ampiamente utilizzato per descrivere l'effetto UHI, inoltre poter prevedere gli impatti del futuro UTFVI può essere un approccio efficace per identificare le potenziali zone di ondata di caldo e garantire un ambiente urbano sostenibile adottando misure preventive.

L'Urban Thermal Field Variance Index (UTFVI) è comunemente utilizzato dalla comunità scientifica per valutare la qualità termica delle aree urbane. Può identificare spazi ad alta temperatura chiamati Urban Hot Spot (UHS) (Amindin et al. 2021; Das and Das 2020; Sharma et al. 2021) e determinare la loro associazione con LULC; ricerche recenti hanno concluso che gli UHS si trovano all'interno di aree urbane con intensità UHI più elevate e che corrispondono ad aree con LST più elevato, questi studi avvertono di aumenti significativi dell'LST delle aree urbane durante l'ultimo decennio, direttamente collegati a un aumento dell'UHS.

Diversi fattori influenzano l'LST per innescare i fenomeni UHI e UTFVI, come le ondate di calore, la psicomelia, la modifica delle superfici terrestri e l'intensità dell'illuminazione. Il cambiamento LULC si comporta come un fattore predominante significativo che contribuisce all'effetto UHI. I cambiamenti nella proporzione dei tipi LULC sono il fattore più influente che influenza l'LST. Prevedere i futuri cambiamenti LULC e valutare la relazione con LST può prevenire efficacemente la tendenza crescente del fenomeno UHI e UTFVI. Gli studi di previsione LULC possono proiettare scenari futuri e contribuire a garantire una proiezione ambientale basata sullo sviluppo socio-economico vari studi di simulazione per identificare la relazione tra LULC e cambiamento LST sono stati eseguiti da molti ricercatori, che hanno aiutato in diverse casistiche urbane a sviluppare future strategie di sviluppo sostenibile dimostrando il successo della previsione risultati integrando le tecniche di telerilevamento (RS) e del sistema informativo geografico (GIS).

Questo indice, dunque, tiene conto dei valori della LST delle diverse zone urbane della città per questo ho ritenuto necessario integrare a questo studio anche questo calcolo perché potessi andare a verificare la variazione della LST sul territorio urbano e dunque andare a confrontare i valori identificati dai punti di interesse nei due periodi di riferimento estivi del 14/08/2021 e del 01/08/2022; il calcolo di questo indice tiene conto di un valore  $T_s$  che rappresenta la LST di un determinato punto o pixel dell'area presa in esame e della  $T_{mean}$  che costituisce la temperatura media della LST dell'intera area; da questi due fattori ne deriva la seguente formula:

$$UTFVI = (T_s - T_{mean}) / T_s$$

T<sub>mean</sub> = temperatura media LST dell'intera area studio

T<sub>s</sub> = LST di un determinato punto o pixel nell'area

Da questo calcolo ne ricaviamo appunto i valori della UTFVI andando ad individuare dei punti di interesse come valori T<sub>s</sub>, v'è però considerato che suddetto valore presenta i alcuni parametri della normativa per la quale i risultati che. si ottengono da questo calcolo possono rientrare all'interno di sei diversi indici di valutazione ecologica per poter comprendere i livelli di intensità di questo fenomeno.

#### Valori soglia di valutazione di intensità delle UTFVI

Indice di variazione del campo termico urbano	Fenomeno dell'Isola di Calore Urbana	indice di valutazione ecologica
meno di 0	Nessuno	Ottimo
0 - 0,005	Debole	Buono
0,005 - 0,010	Medio	Normale
0,10 - 0,015	Forte	Cattivo
0,015 - 0,020	Molto forte	Peggior
più di 0,020	Molto più forte	Pessimo

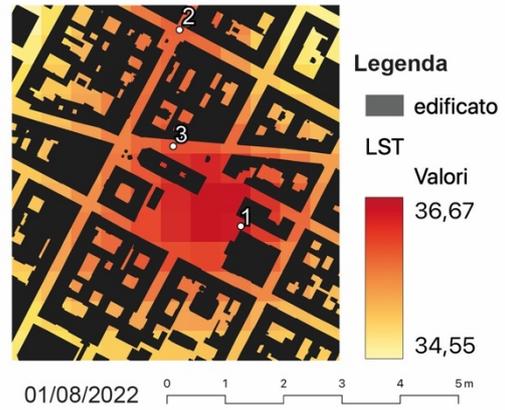
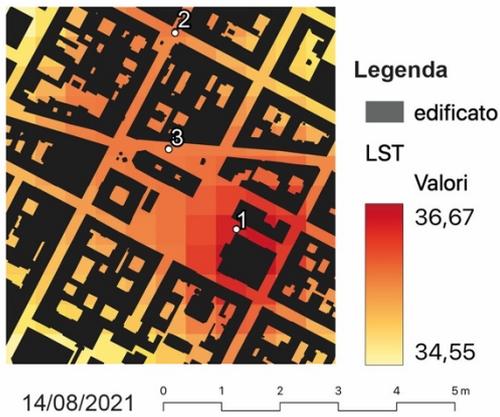
#### 7.1.2 Confronto LST e individuazione punti di interesse

Come abbiamo visto per poter calcolare l'indice UTFVI è necessario svolgere uno studio inerente le diverse zone caso studio per poter dunque individuare dei punti di interessi per poter svolgere questo calcolo nello specifico per ciascuna zona sono state individuate più di un punto di interesse in maniera tale da avere un punto di vista più approfondito dei valori della UTFVI e se i valori della LST sono tali che possano essere causa fondamentale del fenomeno delle UHI e che, dunque, possano essere una. motivazione. Per la quale. In futuro possono verificarsi ed intensificarsi in maniera più critica; per questo un altro aspetto per la quale è possibile individuare questo fenomeno in maniera più chiara è la volontà di integrare questi punti di interesse sia. Nell'agosto

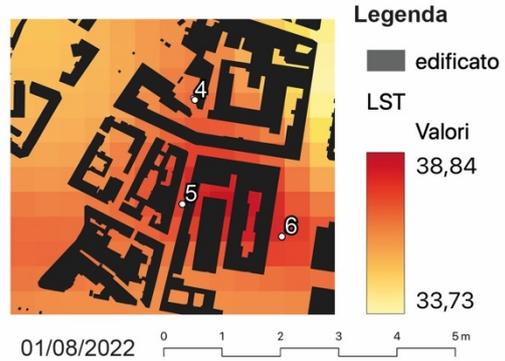
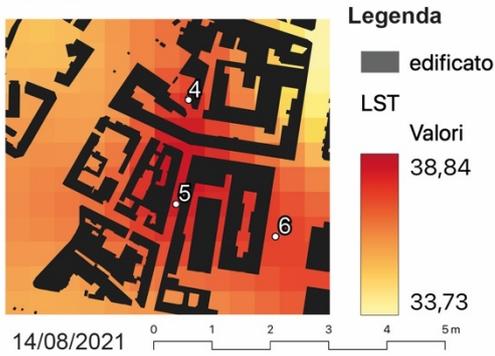
del 2021 che in quelli del 2022 per poter misurare puntualmente i valori dei punti di interesse di ciascuna zona:

### Land Surface Temperature per zone tra il 2021 e 2022

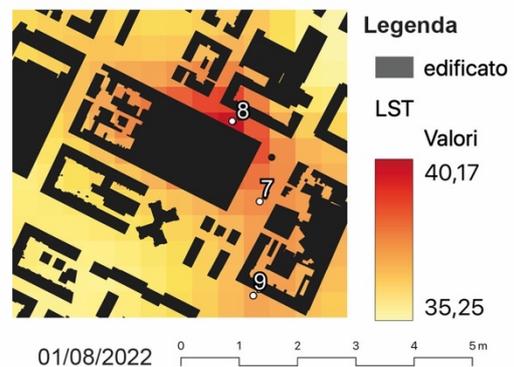
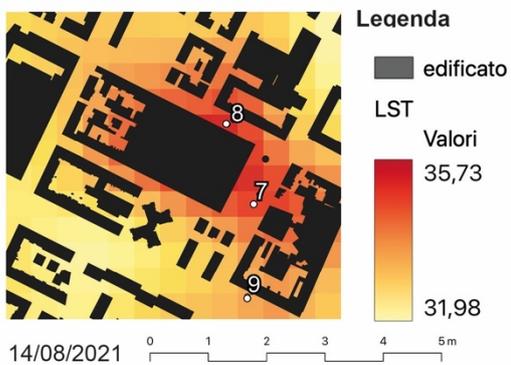
#### Zona 1



#### Zona 2

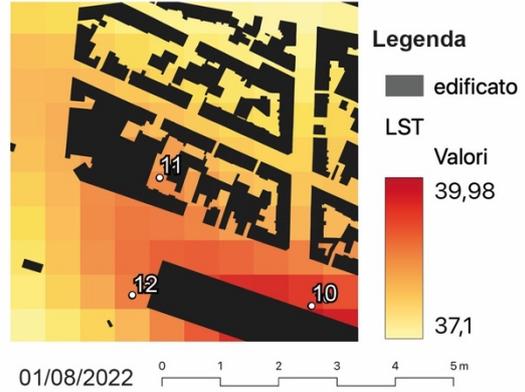
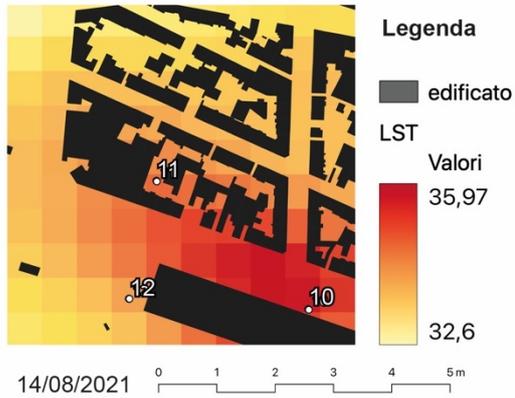


#### Zona

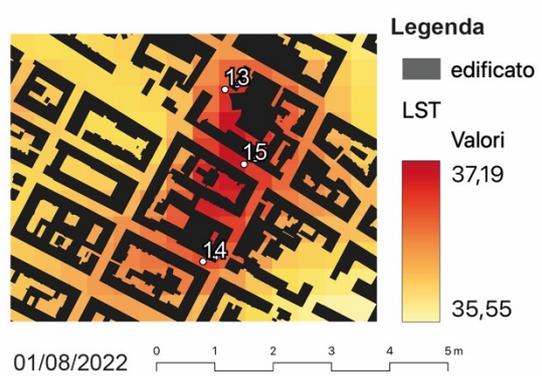
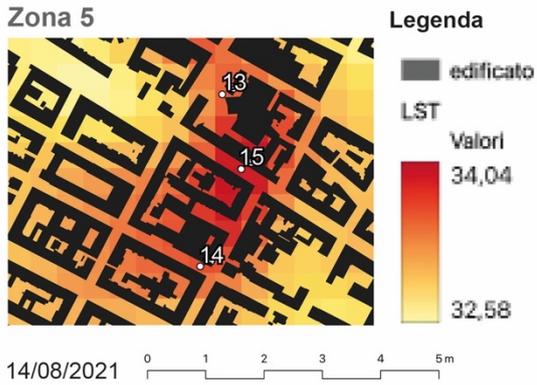


## Land Surface Temperature per zone tra il 2021 e 2022

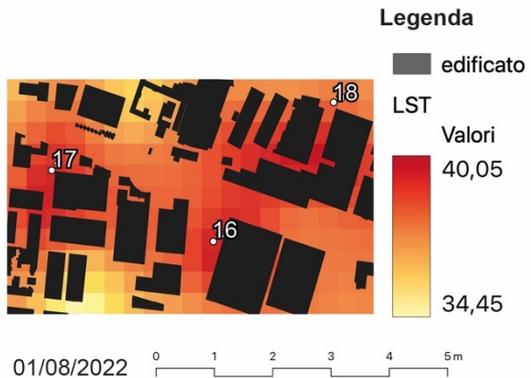
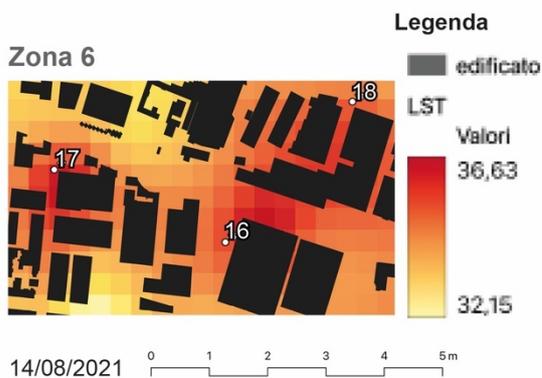
### Zona 4



### Zona 5



### Zona 6



La possibilità di andare a porre uno zoom sulle singole aree prese come caso studio ha permesso di sapere quale fosse l'andamento della LST tra il 2021 e 2022 e quale fosse l'evoluzione delle UHI nel tessuto urbano; infatti, per poter vedere questo andamento è stato preso in esame uno zoom dei risultati delle LST calcolate nelle precedenti analisi grazie all'utilizzo delle bande. Rosse e vicino infrarosse ottenute dal satellite NASA Landsat 8 e successivamente integrate nel software Quantum GIS per poi poter svolgere il calcolo della LST per periodi; ciò mi ha posto dunque di fronte a dei risultati con presente una griglia con moduli di 5x5 per la quale ogni singolo quadrante sia caratterizzato da un valore di LST della superficie del suolo o dell'edificato; per questo in questa determinata casistica. Non sono stati presi i valori a carattere generale delle sezioni di censimento anche perché in funzione di quanto detto in precedenza essendo che sono necessari valori puntuali, e dunque andare a prendere in esame queste griglie 5x5 della LST permette di usare un singolo modulo come valore puntuale.

È chiaro come la selezione dei moduli per poter svolgere questo calcolo deve prevedere valori della LST chiaramente alti e per questo è necessario andare a visionare le aree di colore rosso o comunque ove vi sono pixel di colore rosso, per questo in relazione alla morfologia delle diverse zone del tessuto morfologico si nota come la selezione dei punti di interesse quasi sempre riguarda zone ove il tessuto urbano è caratterizzato da materiali edili come cemento, porfido e pietra e per questo può presentare un rilascio di temperatura superficiale particolarmente alta; d'altro canto la selezione dei pixel partendo dai valori ottenuti nel 2021 può comportare che i valori dei pixel nel 2022 possano variare o in positivo che. in negativo.

Però, come possiamo notare dai risultati singoli delle diverse LST di Torino denota come vi siano solo alcune. Zone. in cui il fenomeno delle UHI in conformità dei valori della. Temperatura della LST sono le zone 3 e 4 al contrario se prendiamo in esame le altre zone. si nota come i valori della LST per pixel, anziché ridursi subisce univocamente una. variazione di andamento della LST per la quale per alcune zone. come la 2 e la 5 un abbassamento dei valori nelli punti di interesse presi come riferimento per poter svolgere questo calcolo; per poter svolgere questo calcolo, dunque, sono stati scelti 3 punti di interesse per ogni singola zona e dunque un totale di diciotto punti di interesse, la scelta di optare per più punti di interesse permetterà di valutare i risultati della UTFVI in maniera più dettagliata lungo tutto il territorio delle aree prese in esame, infatti le analisi che. ho voluto svolgere per le singole zone è stato considerato di non porre a troppa distanza l'uno dall'altro i diversi punti di interesse.

Di seguito verranno riportati i valori di LST media delle singole zone. caso studio ed inoltre i valori di LST puntali dei diciotto punti di interesse.

Aree	Punti di interesse	Ts nel 2021	Tmean nel 2021	Ts nel 2022	Tmean nel 2022
<b>Zona 1</b>	1	32,78	32,27	36,63	35,78
	2	32,44		36,22	
	3	32,43		36,31	
<b>Zona 2</b>	4	34,93	33,72	37,61	37,05
	5	35,16		38,26	
	6	34,63		38,51	
<b>Zona 3</b>	7	35,23	33,71	38,38	37,25
	8	35,49		40,17	
	9	34,09		37,95	
<b>Zona 4</b>	10	35,56	34,41	39,67	38,41
	11	35,15		38,98	
	12	34,53		39,08	
<b>Zona 5</b>	13	33,74	33,34	37,06	36,35
	14	33,80		36,95	
	15	34,03		37,16	
<b>Zona 6</b>	16	35,91	35,05	39,71	38,59
	17	36,54		39,73	
	18	35,81		38,95	

Tmean = temperatura media LST dell'intera area studio

Ts = LST di un determinato punto o pixel nell'area

## 7.2 Risultati e confronto calcolo UTFVI

Una volta riportati i valori della LST singoli dei punti di interesse e confrontati in relazione ai valori della LST media. Delle singole zone caso studio è stato valutato il calcolo dell'indice di

intensità UTFVI per andare a valutare i singoli valori dei punti di interesse, essendo che secondo la normativa i valori che si ottengono dal calcolo della UTFVI presentano una classificazione per intensità da valori positivi a negativi e dunque in questa analisi ho voluto dare dei colori ai risultati ottenuti in relazione alla fascia di intensità che prevede la normativa; inoltre, in relazione al confronto dei due periodi di riferimento del 14/08/2021 e il 01/08/2022 e dunque vedere in relazione al variare del colore con cui è classificato il risultato della UTFVI sia positivo che negativo quale sia il fattore principale per la quale si ottengano questi risultati e del motivo per la quale subiscano determinate variazioni:

### Risultati calcolo UTFVI

Casi Studio	Punti di interesse	LST 14/08/2021	LST 01/08/2022	UTFVI 14/08/2021	UTFVI 01/08/2022
Area 1	1	32,78	36,63	0,016	0,023
	2	32,44	36,22	0,005	0,012
	3	32,43	36,33	0,005	0,015
Area 2	4	34,93	37,61	0,035	0,015
	5	35,16	38,26	0,041	0,032
	6	34,72	38,51	0,029	0,038
Area 3	7	35,2	38,38	0,042	0,029
	8	35,49	40,17	0,05	0,073
	9	34,03	37,95	0,009	0,018
Area 4	10	35,89	39,98	0,042	0,039
	11	35,15	38,98	0,021	0,015
	12	34,53	39,08	0,003	0,017
Area 5	13	33,74	37,06	0,012	0,019
	14	33,8	36,92	0,014	0,015
	15	33,75	36,83	0,012	0,012
Area 6	16	35,91	39,71	0,025	0,028
	17	36,56	39,76	0,042	0,029
	18	35,81	38,97	0,022	0,01

- Presenza con parametri deboli di Isole di calore urbane
- Presenza con parametri normali di Isole di calore urbane
- Presenza con parametri forti di Isole di calore urbane
- Presenza con parametri molto forti di Isole di calore urbane
- Presenza con parametri pericolosi di Isole di calore urbane

Da questi calcoli possiamo notare che in relazione del calcolo della UTFVI dei singoli punti di interesse permette di avere un'idea di quale sia l'effetto delle UHI su tutto il territorio delle zone caso studio della città di Torino infatti si può notare come la gran parte delle zone prese in esame per lo studio mantengono valori considerevolmente standardizzati e in relazione alle fasce della normativa inerente ai valori della UTFVI troviamo vaste zone ove le UHI sono caratterizzati da valori pericolosi ed al contrario solo un paio di punti di interesse che presentano valori normali o

comunque deboli; va comunque riportato il fatto che suddetto calcolo va a determinare valori per la quale non sono del tutto esatti per avere un'idea chiara sul fenomeno delle UHI, ciò però riguarda studi per la quale viene preso in considerazione un singolo punto di interesse, e quindi maggiori sono i punti di interesse presi in esame maggiore sarà la possibilità che i valori ottenuti siano corretti e per questo va ulteriormente a giustificare la scelta di tre punti di interesse relativamente vicini fra di loro.

Entrando nello specifico di questo studio si può notare come vi siano dei casi particolari per la quale in quelle determinate zone vi sia stato un abbassamento degli standard delle UHI riducendo la criticità di quelle zone ove è presente il fenomeno delle UHI, d'altro canto suddette zone, per ognuna di essa, presentano un singolo punto di interesse su tre ove la variazione tra il 2021 e il 2022 è positivo, le aree in considerazione sono le Zone 2, 4 e 6; nello specifico troviamo che la variazione in queste aree è di: 0,035 nel 2021 con un abbassamento a 0,015 nel 2022 per la zona 2, da 0,021 nel 2021 abbassandosi a 0,015 nel 2022 per la zona 4 e da 0,022 a 0,01 tra il 2021 e il 2022 per quanto riguarda la Zona 6.

Si può già porre un distinguo per quanto riguarda le Zone ove sono stati calcolati suddetti valori, infatti, per quanto riguarda le zone 2 e 4 infatti trovandosi di fronte a valori praticamente identici si mostra come l'abbassamento di intensità dell'indice UTFVI nel 2022 è identico trovando come si è ottenuto lo stesso valore di 0,015 nonostante la significativa distanza tra una zona e l'altra ma che. presentano caratteristiche morfologiche urbane molto simili fra di loro, infatti, suddetti punti di interesse sono posizionati entrambi all'interno di una corte di un edificio ove è presente una parziale presenza di verde urbano; infatti, queste zone nel 2021 presentavano valori per la quale rientravano in zona per la quale le UHI potevano essere pericolose per la salute dell'uomo e con questo abbassamento dei valori rientrano nella fascia per la quale risultano, si forti, ma che. non risultano particolarmente dannosi per la salute ed il comfort di chi sta a presso.

Al contrario se prendiamo in esame gli altri due punti di interesse della Zona 2 e 4 si può constatare che i valori calcolati della UTFVI sono costantemente pericolosi e mantengono valori medi tra il 0,035 e addirittura oltre i 0,040 sia nel 2021 che nel 2022 e per questo non subendo alcuna variazione di intensità, è inoltre irrilevante come l'abbassamento di alcuni punti tra le due aree perché talmente minima la differenza tra il 2021 ed il 2022 che i valori di pericolosità rimangono nella soglia di pericolosità elevata; infatti troviamo che. per quanto riguarda la zona 2 il punto di interesse 5 si abbassa da 0,041 a 0,039 e nella zona 4 nel punto di interesse 10 si abbassa da 0,042 a 0,038 e dunque come affermato rimane inserito all'interno di suddetta fascia; a motivare questo aspetto vi è la morfologia urbana in cui sono inseriti ove la. Vegetazione è praticamente assente e per cui i valori della LST individuali molto alti portano ad avere una differenza rispetto alla LST media totale molto alta, d'altro canto questo parziale abbassamento

della temperatura può essere ricondotto al posizionamento del punto di interesse in prossimità di un fabbricato industriale che porta dell'ombra in quell'area e che quindi funge da fattore di mitigazione. Dell'area anche non sufficiente a ridurre questo fenomeno e come. Possiamo vedere purtroppo quasi irrilevante.

Al contrario l'altra area per la quale troviamo un abbassamento delle temperature significativo è la Zona sei nello specifico il punto di interesse n.18 ove in questo frangente l'abbassamento ha portato i valori da 0,022 del 2021 a 0,01 del 2022 e dunque un abbassamento significativo da zona con valori di pericolosità anomala a indici di UHI normali e che quindi non costituisce più un valore di interesse; suddetto abbassamento è riconducibile anche in questa casistica al posizionamento del punto di interesse ove vi sono individuati più fattori per la quale si è sviluppato una mitigazione. Del fenomeno delle UHI, per questo il motivo per cui il valore. Della UTFVI si è abbassato a 0,01 nel 2022 perché tra l'ombra formata dall'edificio antistante e la presenza di un'area verde con piccoli arbusti ha portato ad influenzare i valori elevati dell'anno precedente e a non renderli più drasticamente pericolosi; al contrario però per quanto riguarda i valori degli altri punti di interesse presenti nelle Zone 2, 4 e 6 non vi è stato nessun fenomeno di mitigazione al contrario per la maggioranza si sono alzati e costituisce ancora di più un aggravante se consideriamo la Zona 6 che rappresenta l'area ove troviamo i valori più alti di LST che rispetto ad una media generale di temperatura superficiale delle altre zone di 34° nel 2021 e di 37° nel 2022 si riscontra in entrambi i due periodi un incremento di +2° per la zona 6 con una media di 35,05° nel 2021 e di 38,60 nel 2022.

Ed ancora più alti sono i valori dei singoli punti di interesse e quindi dei singoli pixel presente nella griglia della zona 6 ove troviamo valori di LST di 36° nel 2021 e di 39° nel 2022, questo è giustificato anche dal fatto che i punti di interesse ove sono stati svolti suddetti calcoli sono zone cementate ove non vi sia nessun tipo di schermatura; ciò è aggravato, come già detto in precedenza nell'approfondimento del calcolo della LST dell'area metropolitana di Torino, dai materiali che caratterizzano il suolo e fabbricati presenti, dunque è ovvio che in relazione all'altra percentuale di cemento invecchiato ha comportato ad innalzare drasticamente le temperature dei materiali e di conseguenza i risultati dimostrano come la temperatura rilasciata da questi materiali è dannoso per il comfort esterno.

Per quanto riguarda le altre zone troviamo situazione addirittura più gravi per quanto riguarda i risultati dell'indici UTFVI ove si riscontrano casi con situazioni normali o addirittura inesistenti di UHI nel 2021 che però a causa dell'innalzamento delle temperature della LST ha portato, secondo gli standard prestabiliti dalla normativa, ad essere identificati come UHI con densità forte o addirittura molto forti; ciò è evidente nelle zone 1, 3 e 4, eclatante è il caso della zona 1 che ha portato ad un totale variazione dell'andamento della LST nell'intero territorio urbano ove si è

determinato un incremento di tutti e tre i punti di interesse e quindi un significativo peggioramento della qualità dell'aria in tutta la zona ove tra il 2021 e il 2022 c'è stato un aumento da 0,015 a 0,023 per il punto n.1, di 0,005 a 0,012 per il punto n.2 e da 0,005 a 0,015 per il punto n.3.

Questo incremento dei valori della UTFVI è fortemente legato alla conformazione del territorio e dai materiali del suolo e delle coperture, per questo la conformazione molto ravvicinata dei palazzi della zona 1 caratteristica del centro storico della città di Torino ha portato a formarsi diversi canyon urbani che sono fonte di un incremento di questo valore, ma se si va a confrontare con i risultati degli altri punti di interesse delle altre zone, si riscontra come l'effetto delle isole di calore rispetto alla LST come causa principale nell'influenzare. Le isole di calore sono nettamente inferiori alla zona 3 o alla zona 6; infatti troviamo come l'intensità dei valori della UTFVI è inferiore ove troviamo canyon urbani rispetto a zone ove i pixel presi come riferimento presentano grandi spazi cementati e a dimostrazione di ciò se confrontiamo un valore della zona 1 ovvero 0,005 nel 2021 e di 0,012 nel 2022 rispetto a quelli della zona 4 e tre ove troviamo valori sempre superiori a 0,4 a causa delle vaste zone cementate non schermate costituisce una caratteristica morfologica con criticità maggiore rispetto ai canyon urbani della zona 1 per quanto riguarda il surriscaldamento dei materiali.

In fine per quanto riguarda questo calcolo troviamo la zona 5 ove per le caratteristiche che lo identificano molto simili a quelli della zona 1 presenta valori, per quanto negativi, nella media molto contenuti e che nonostante la vasta presenza di canyon urbani la variazione ed incremento delle UHI dal 2021 al 2022 è limitatamente basso infatti nello specifico troviamo come il punto n.13 va da 0,012 del 2021 a 0,019 del 2022, il punto n. 14 dai 0,014 del 2021 ai 0,015 del 2022 ed in fine il punto n.15 che presenta valori invariati, questo aspetto dimostra anche che non vi è stato né un abbassamento né un aumento degli standard di pericolosità delle UHI rimanendo per, come già detto, considerevolmente alte.



## 8 Sky View Factor

In relazione dei prossimi studi che prenderò in esame sul confort termico delle diverse zone, e del grado di qualità dell'aria e della temperatura presente nelle diverse sarà necessario anche andare a calcolare un altro parametro fondamentale anche per comprendere alcuni aspetti sulla morfologia della morfologia dei diversi tessuti urbani presenti; inoltre i valori della Sky view factor sono dei dati fondamentali richiesti dal software Umep SOLWEIG per il calcolo del comfort esterno urbano, infatti sarà fondamentale comprendere questo calcolo e cosa ne derivano i risultati in conformità alle zone che ho preso in esame

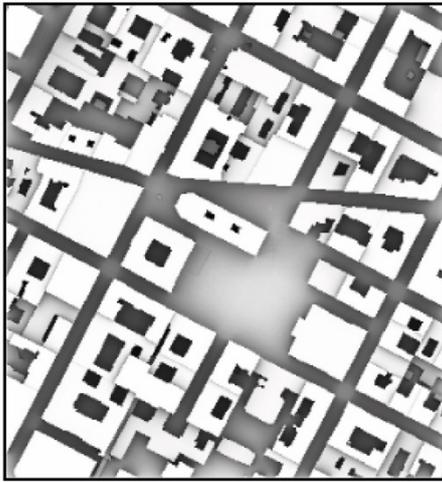
Lo Sky View Factor o semplicemente abbreviato in SVF è essenziale per descrivere la climatologia urbana a scale inferiori a 100 m, questo proxy per la radiazione netta dipende dall'altezza degli ostacoli nei suoi dintorni L'SVF è stato calcolato da un set di dati rasterizzato sull'altezza della nuvola di punti (con 6-10 punti per m<sup>2</sup>) da cui poi ne. Derivano i file utili DEM, TDSM e DSM; la SVF risultante dipende dalla risoluzione della griglia, dal raggio di ricerca e dal numero di direzioni, la ricerca precedente ha correlato l'isola di calore urbana massima diurna (UHI) dello strato della chioma all'intervallo di temperatura diurna, all'irraggiamento solare, alla velocità del vento, alla frazione di vegetazione e all'SVF, quindi poter determinare la sensibilità della SVF permette non solo di individuare i valori del comfort termico, grazie. Al software Umep SOLWEIG, ma anche l'impatto sull'UHI.

Il Sky View Factor oppure SVF è un parametro adimensionale con valori compresi tra 0 e 1 che rappresenta la frazione di cielo visibile sulla superficie di un emisfero centrato sul punto di analisi e di conseguenza può essere un parametro rilevante per la stima della geometria radiativa di un sito, sintetizzando il rapporto tra la radiazione ricevuta o emessa da una superficie piana e la radiazione emessa o ricevuta dall'ambiente emisferico circostante e quindi esprime in un singolo valore l'influenza dei fattori morfologici in un punto specifico; per questo i valori risultanti da questo calcolo, come abbiamo detto vanno da 0 a 1 dove 0,0 in caso di cielo completamente ostruito e quindi non visibile, a 1,0 nel caso di cielo completamente visibile a 360 gradi.

Per questo, nonostante sia univocamente utilizzato come dato per i successivi del comfort termico urbano esterno ho ritenuto un approfondimento necessitoso quello dello Sky View Factor anche. In relazione ad avere un quadro definitivo sulla morfologia urbana delle diverse zone, anche. In relazione a quale fosse il livello di schermatura delle diverse zone critiche, ma anche ,durante il calcolo degli indici di comfort, l'impatto delle UHI.

# Valori Sky View Factor

SVF della Zona 1



Legenda

SVF

Valori

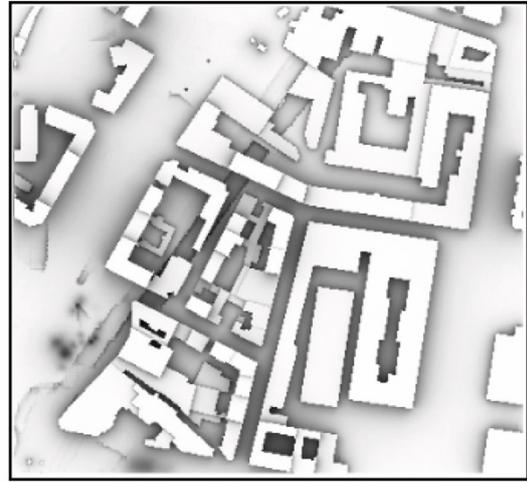
1

0,004

0 1 2 3 4 5m



SVF della Zona 2



Legenda

SVF

Valori

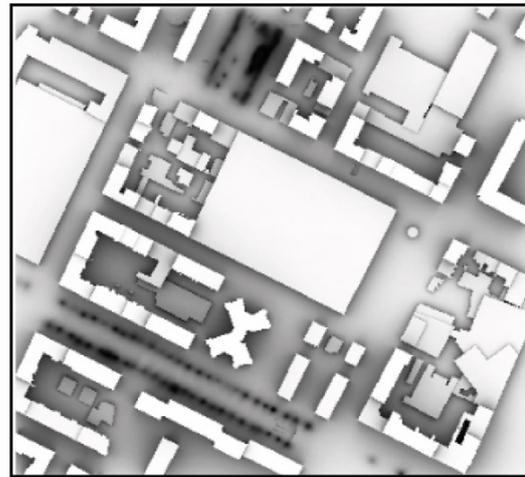
1

0,027

0 1 2 3 4 5m



SVF della Zona 3



Legenda

SVF

Valori

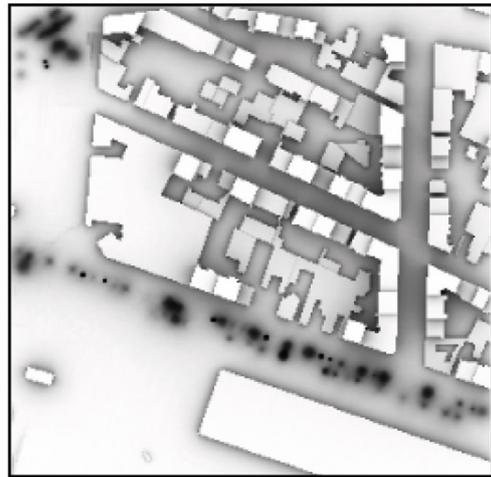
1

0,027

0 1 2 3 4 5m



SVF della Zona 4



Legenda

SVF

Valori

1

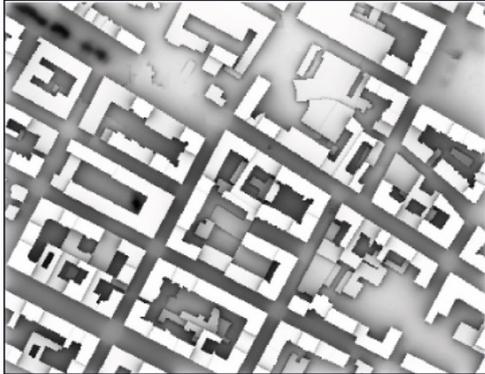
0,024

0 1 2 3 4 5m



# Valori Sky View Factor

SVF della Zona 5



Legenda



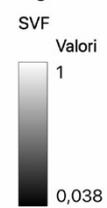
0 1 2 3 4 5m



SVF della Zona 6



Legenda



0 1 2 3 4 5m





## 9 INDICI COMFORT TERMICO

### 9.1 Cosa sono gl'indici di comfort termico

Il comfort termico è la condizione mentale che esprime soddisfazione per l'ambiente termico ed è valutato mediante valutazione soggettiva (ANSI/ASHRAE Standard 55) il corpo umano può essere visto come un motore termico in cui il cibo è l'energia in ingresso. Il corpo umano rilascerà il calore in eccesso nell'ambiente, in modo che il corpo possa continuare a funzionare. Il trasferimento di calore è proporzionale alla differenza di temperatura. In ambienti freddi, il corpo perde più calore nell'ambiente e in ambienti caldi il corpo non rilascia abbastanza calore. Sia lo scenario caldo che quello freddo portano al disagio; il mantenimento di questo standard di comfort termico è caratterizzato da una serie di normative che prevedono di essere rispettate in merito a poter creare una metodologia creare un comfort termico:

- **EN 16798-1**: Prestazione energetica degli edifici -Parte 1 (2018): Parametri di input ambientali interni per la progettazione e la valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici riguardanti la qualità dell'aria interna, l'ambiente termico, l'illuminazione e l'acustica

- **UNI EN ISO 7730**: Ergonomia dell'ambiente termico (2006): Determinazione analitica e interpretazione del comfort termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e criteri di comfort termico locale.

- **Std55 di ASHRAE-ANSI/ASHRAE 55** (2020): Condizioni ambientali termiche per l'occupazione umana.

La neutralità termica viene mantenuta quando il calore generato dal metabolismo umano viene lasciato dissipare, mantenendo così l'equilibrio termico con l'ambiente circostante. I principali fattori che influenzano il comfort termico sono quelli che determinano l'aumento e la perdita di calore, vale a dire il tasso metabolico, l'isolamento degli indumenti, la temperatura dell'aria, la temperatura media radiante, la velocità dell'aria e l'umidità relativa. Anche i parametri psicologici, come le aspettative individuali, influenzano il comfort termico; la temperatura di comfort termico può variare notevolmente da individuo a individuo e dipende da fattori quali il livello di attività, l'abbigliamento e l'umidità per questo il corpo umano è suddiviso in due zone distinte caratterizzate da temperature differenti ovvero quella esterna, la pelle e i tessuti sottocutanei, con una temperatura media di 33-34 °C, variabile con le condizioni ambientali e poi c'è Zona interna, il nucleo, compresi gli organi vitali, ad una temperatura circa costante a 37 °C.

Per questo per individuare questi valori ci vengono in contro una serie di parametri che ci permetteranno di calcolare il comfort umano nell'ambiente come. il PMV e il PPD, questi modelli sono stati sviluppati da P.O. Fanger dove grazie alle equazioni del bilancio termico e studi empirici sulla temperatura della pelle per definire il comfort; le equazioni di Fanger vengono utilizzate per calcolare il voto medio previsto (PMV) di un gruppo di soggetti per una particolare combinazione di temperatura dell'aria, temperatura media radiante, umidità relativa, velocità dell'aria, tasso metabolico e isolamento degli indumenti, il PMV uguale a zero rappresenta la neutralità termica e la zona di comfort è definita dalle combinazioni dei sei parametri per i quali il PMV rientra nei limiti raccomandati,  $-0,5 < PMV < +0,5$ .

Sebbene prevedere la sensazione termica di una popolazione sia un passo importante nel determinare quali condizioni sono confortevoli, è più utile considerare se le persone saranno soddisfatte o meno, Fanger ha sviluppato un'altra equazione per mettere in relazione il PMV con la percentuale prevista di insoddisfatti ovvero il PPD.

$$PMV = \left[ 0,028 + 0,303^{(-0,036 \frac{M}{ADu})} \right] * \left( \frac{H}{ADu} - Ed - E_{sw} - E_{re} - L - R - C \right)$$

- $M/A_{Du}$  e  $H/A_{Du}$  sono usati per quantificare la produzione di energia del corpo dove  $A_{Du}$  è la superficie della pelle; il primo termine è la produzione di energia del corpo relativa a  $1 \text{ m}^2$  di pelle e dipende dall'attività delle persone, il secondo termine è l'energia prodotta non utilizzata per il lavoro meccanico.
- $E_d$  e  $E_{sw}$  sono usati per quantificare l'acqua della pelle e lo scambio di vapore; il primo termine è la quantità di vapore che si diffonde direttamente attraverso la pelle; il secondo termine è l'effetto di raffreddamento del sudore liquido che evapora dalla pelle.
- $E_{re}$  e  $L$  sono usati per quantificare lo scambio di energia attraverso la respirazione; il primo termine è l'energia persa umidificando l'aria nel sistema respiratorio; il secondo termine è l'energia persa e/o guadagnata attraverso lo scambio di calore con l'aria respirata nel corpo.
- $R$  e  $C$  sono usati per quantificare lo scambio di energia alla superficie del corpo; il primo termine è il bilancio energetico radiativo del corpo e dipende dall'isolamento termico dei vestiti, dalla temperatura dei vestiti e dalla temperatura radiativa media; il secondo termine è lo scambio di energia attraverso la convezione e dipende dall'isolamento termico dei vestiti, dal coefficiente di trasferimento turbolento del calore tra vestiti e aria, dalla temperatura dei vestiti, dalla temperatura dell'aria e dalla velocità del vento considerando la velocità di camminata della persona.

$$PPD = 100 - 95 * \exp(-0,03353 * PMV^4 - 0,2179 * PMV^2)$$

In relazione a quanto detto troviamo anche degli ulteriori degli ulteriori indici per svolgere il calcolo del comfort termico ovvero l'Universal Thermal Climate Index (UTCI) e il Physiological Equivalent Temperature (PET), ITS e SET nello specifico i primi due saranno quelli di cui ci occuperemo anche perché in relazione al software utilizzato, ovvero Umep SOLWEIG, sarà possibile. Univocamente andare a calcolare questi singoli indici di comfort termico grazie al calcolo della temperatura media radiante; Inoltre durante. Il calcolo su Umep SOLWEIG di questi fattori oltre ai parametri precedentemente elencati nel capito appositamente dedicato al software vi sono degli ulteriori valori specifici forniti dalla normativa che sono indispensabili per il calcolo del livello del comfort dell'individuo e dell'ambiente circostante tra questi troviamo in primis il metabolismo, che identifica l'insieme dei processi che, all'interno del corpo umano, trasformano l'energia chimica potenziale derivante dagli alimenti in altre forme di energia. Questo fattore viene espresso in W, anche se vi è un altro metodo proposto da Fanger ove fa riferimento alla superficie corporea e introdusse un'unità di metabolismo incoerente chiamata Met (1 Met = 58,15 W/m<sup>2</sup> di superficie corporea), infatti il Software Umep SOLWEIG fa riferimento alla misurazione. In W.

Attività	Energia metabolica	
	Wm <sup>2</sup>	Met
Disteso	46	0.8
Seduto,rilassato	58	1.0
Attività sedentaria (ufficio, scuola, casa, laboratorio)	70	1,2
Attività leggera in piedi (compere, laboratorio, industrie. Leggere)	93	1,6
Attività media in piedi (commesso, lavori domestici, lavori a. macchina)	116	2,0

Camminata:		
2km/h	110	1,9
3km/h	140	2,4
4km/h	165	2,8
5km/h	200	3,4

Inoltre, un altro fattore fondamentale per poter svolgere il calcolo degli indici PET e UTCI grazie agli strumenti forniti da Umep SOLWEIG è l'abbigliamento, infatti, i capi vestiari riducono la perdita da parte del corpo di calore, viene classificato in base al suo valore di isolamento il livello di isolamento deve essere misurato in  $m^2C/W$ , ma esiste un altro metodo di misurazione, ideato da Fanger, che introduce un'altra unità chiamata Clo infatti 1 Clo corrisponde a  $0,155 m^2C/W$  e per ogni tipologia di vestiario vi corrisponde un determinato valore anche in relazione alle stagioni o al tipo di attività.

Abbigliamento di Lavoro	$I_{cl}$		Abbigliamento giornaliero	$I_{cl}$	
	Clo	$m^2K/W$		Clo	$m^2K/W$
Mutande, tuta, calzini e scarpe	0,70	0,110	Slip, maglietta, pantaloncini, calzini leggeri, sandali	0,30	0,050
Mutande, camicia, pantaloni, calzini e scarpe	0,75	0,115	Slip, sottoveste, calze, abito leggero con maniche, sandali	0,45	0,070
Mutande, camicia, tuta, calzini, scarpe	0,80	0,125	Mutande, camicia con maniche corte, pantaloni leggeri, calzoni leggeri, scarpe	0,50	0,80
Mutande, camicia, pantaloni, giacca, calzini, scarpe	0,85	0,135	Slip, calze, camicia. Maniche corte, gonna, sandali	0,55	0,085
Mutande, camicia, pantaloni, grembiule, calzini, scarpe	0,90	0,140	Mutande, camicia, pantaloni leggeri, calzoni, scarpe	0,60	0,095
Biancheria intima a maniche. E gambe corte, camicia,	1,00	0,155	Slip, sottoveste, calze, abito, scarpe	0,70	0,105

pantaloni, giacca, calzini, scarpe					
Biancheria a gambe e maniche corte, camicia, pantaloni, tuta, calzini, scarpe	1,10	0,170	Biancheria intima, camicia, pantaloni, calzoni, scarpe	0,70	0,110
Biancheria intima a gambe e maniche lunghe, giacca termica, calzoni, scarpe	1,20	0,185	Biancheria intima, completo da corsa, calzini lunghi, scarpe da corsa	0,75	0,115
Biancheria intima a maniche e gamba corte, camicia, pantaloni, giacca, giacca termica, calzini, scarpe	1,25	0,190	Slip, sottoveste, camicia, gonna, calzettoni spessi al ginocchio, scarpe	0,80	0,120
Biancheria intima a maniche e gambe corte, tuta, giacca termica, calzini, scarpe	1,40	0,190	Slip, camicia, gonna, maglione a girocollo, calzettoni spessi al ginocchio, scarpe	0,80	0,120
Biancheria intima a maniche e gambe corte, camicia, pantalone, giacca, giacca termica, calzini, scarpe	1,55	0,225	Mutande, camicia a maniche corte, pantaloni, maglione con scollo a V, calzini, scarpe	0,95	0,145
Biancheria intima a maniche e gambe corte, camicia, pantalone, giacca, giacca con imbottitura pesante e tuta, calzini, scarpe	1,85	0,285	Slip, camicia, pantaloni, giacca, calzini, scarpe	1,00	0,155
Biancheria intima a maniche e gambe corte, camicia, pantalone, giacca, giacca con imbottitura pesante e tuta, berretto, calzini, scarpe	2,00	0,310	Slip, calze, camicia, gonna, gilet, giacca	1,00	0,155
Biancheria intima a maniche e gambe lunghe, giacca termica e pantaloni, giacca termica per esterni e pantaloni, calzini, scarpe	2,20	0,340	Slip, calze, blusa, gonna lunga, giacca, scarpe	1,10	0,170
Biancheria intima a maniche e gambe lunghe, giacca	2,55	0,395	Biancheria intima, camicia con maniche corte, camicia,	1,10	0,170

termica e pantaloni, parka con imbottitura pesante, tuta con imbottitura pesante, calzini, scarpe, berretto, guanti			pantaloni, giacca, calzoni, scarpe		
			Biancheria. Intima, camicia a maniche corte, camicia, pantaloni, gilet, giacca, calzini, scarpe	1,15	0,180
			Biancheria intima a maniche e gamba lunga, camicia, pantaloni, maglione con scollo a V, giacca, calzoni, scarpe	1,30	0,200
			Biancheria intima a maniche. E gambe corte, camicia, pantaloni, gilet, giacca, cappotto, calzini, scarpe	1,50	0,230

### 9.1.2 Physiological Equivalent Temperature (PET)

Il PET è definito come la temperatura dell'aria alla quale, in un ambiente esterno senza vento e radiazione solare, il bilancio termico del corpo umano è bilanciato con la stessa temperatura interna e cutanea delle complesse condizioni esterne da valutare, il PET è basato sul modello MEMI (Munich Energy-balance Model for Individuals), un modello a due nodi con equazioni di bilancio energetico tra il nucleo del corpo umano, la sua pelle e l'ambiente esterno in condizioni stazionarie; Il PET come abbiamo detto è un indice di comfort termico calcolato in base al bilancio MEMI, ovvero il bilancio energetico del corpo umano indicato nell'Equazione. Dipende dalla temperatura della pelle, del corpo e degli indumenti e dal tasso di sudorazione; questi parametri sono calcolati tenendo conto di tutti i flussi di calore in entrata e in uscita tra il corpo umano e l'ambiente urbano esterno

$$M+W+R+C+E_D +E_{Re} +E_{Sw} +S=0$$

Dove, M il tasso metabolico (produzione interna di energia), W il rendimento del lavoro fisico, R l'irraggiamento netto del corpo, C il flusso di calore convettivo, ED il flusso di calore latente per evaporare l'acqua che si diffonde attraverso la pelle (sudorazione impercettibile), ERe la somma dei flussi di calore per il riscaldamento e l'umidificazione dell'aria inspirata, ESw il flusso di calore dovuto all'evaporazione del sudore e S il flusso di calore di accumulo per il riscaldamento o il raffreddamento della massa corporea. I singoli termini di questa equazione hanno segno positivo se determinano un guadagno energetico per il corpo e segno negativo in caso di perdita energetica (M è sempre positivo; W, ED e Esw sono sempre negativi). L'unità di tutti i flussi di calore è in Watt (Höppe 1999), ogni singolo parametro individuato per il calcolo del PET è legato da un determinato parametro meteorologico:

- Temperatura dell'aria: C, E<sub>Re</sub>
- Aria Umida : E<sub>d</sub>, E<sub>Re</sub>, E<sub>Sw</sub>
- Velocità del vento: C, E<sub>Sw</sub>
- Temperatura media radiante

Inoltre, secondo uno studio tedesco da parte della German Association of Engineers dove è stato redatta una classificazione per valutare i livelli di PET nel territorio che mi è stato utile per comprendere la valutazione biometeorologica umana del clima e della qualità dell'aria per la pianificazione urbana e regionale; infatti, il seguente Studio ha diviso il livello di intensità del comfort termico esterno delle persone e dell'ambiente urbano in otto classi a cui corrispondono delle temperature da cui ne. Deriva un grado di stress e percezione

PET	Percezione Termica	Grado fisiologico di stress
4°C	Molto freddo	Stress estremo da freddo
	Freddo	Stress forte da freddo
8°C	Fresco	Stress moderato da freddo
13°C	Leggermente fresco	Leggero stress da freddo
18°C	Confortevole	Nessuno stress termico
23°C	Leggermente tiepido	Leggero stress da caldo
29°C	tiepido	Stress moderato da caldo
35°C	Caldo	Stress forte da caldo
41°C	Molto caldo	Stress estremo da caldo

### 9.1.3 Universal Thermal Climate Index (UTCI)

L'Universal Thermal Climate Index o semplicemente UTCI è una temperatura equivalente (°C) che va a misurare la risposta fisiologica umana all'ambiente termico, questo indice universale del clima termico (UTCI) descrive gli scambi termici sinergici tra l'ambiente termico e il corpo umano, vale a dire il suo bilancio energetico, la fisiologia e l'abbigliamento; UTCI prende in considerazione l'adattamento dell'abbigliamento della popolazione in risposta alla temperatura ambientale effettiva. Ci sono quattro variabili necessarie per calcolare l'UTCI: temperatura dell'aria a 2 m, temperatura del punto di rugiada a 2 m (o umidità relativa), velocità del vento a 10 m sopra il livello del suolo e la temperatura radiante media ( $T_{mrt}$ ).

UTCI si basa sul modello UTCI-Fiala (Fiala et al., 2012), che combina un modello di termoregolazione dinamica del corpo umano insieme a un modello di isolamento dell'abbigliamento a temperatura variabile, descrivendo entrambi stati distinti a seconda di diversi fattori ambientali. Complessivamente, UTCI fornisce una stima della temperatura "apparente" che il nostro corpo percepirebbe in una data condizione ambientale specificata dalla temperatura dell'aria, dal vento, dall'umidità e dalla radiazione. Questa temperatura apparente è in realtà la temperatura che dovrebbe avere un ambiente di riferimento, definito da valori fissi di umidità, vento e irraggiamento, per produrre nel nostro corpo la stessa reazione fisiologica di quella prodotta dall'ambiente dato di partenza.

UTCI considera più variabili che influenzano il comfort termico, oltre alla temperatura. Per questo motivo è un indicatore più accurato da utilizzare quando si analizzano gli impatti che le condizioni ambientali hanno sul corpo umano e sul comportamento delle persone. Tra le tante potenziali applicazioni, UTCI può essere utile, ad esempio, per indagare gli impatti sulla salute, sul consumo energetico o anche sulle migrazioni umane dovute a condizioni climatiche estreme; è essenziale tenere presente che UTCI non deve corrispondere alle misurazioni fisiche della temperatura dell'aria comunemente utilizzate nella scienza del clima. Gli esseri umani reagiscono effettivamente ai valori UTCI e non strettamente ai valori che visualizzano i termometri, essendo questo solo un proxy del nostro benessere fisiologico che, in realtà, include altre variabili meteorologiche.

Inoltre, il calcolo della definito come la temperatura dell'aria  $T_a$  della condizione di riferimento che provoca la stessa risposta del modello alle condizioni reali, risolvendo una regressione polinomiale del 6° ordine in funzione delle condizioni climatiche dove: l'offset è la deviazione

dell'UTCI dalla temperatura dell'aria,  $T_a$  e  $T_{mrt}$  sono le temperature radianti dell'aria e media,  $v_a$  è la velocità del vento,  $v_p$  è la pressione del vapore acqueo.

$$UTCI = f(T_a; T_{mrt}; v_a; v_p) = T_a + \text{Offset}(T_a; T_{mrt}; v_a; v_p)$$

I diversi valori dell'UTCI sono classificati in termini di stress termico dal seguente approccio si possono ricavare, come. Anche con il PET, diversi gradi di risposte alle condizioni di riferimento deducibili dal carico o meglio dallo stress generato dal caldo e da freddo causato dalla risposta fisiologica dell'organismo alle condizioni ambientali reali.

UTCI Range (C°)	Categorie di stress
Superiore ai +46°	Stress estremo da caldo
+38° a +46°	Stress molto forte da caldo
+32° a 38°	Forte stress da caldo
+26° a +32°	Stress moderato da caldo
+9° a +26°	Nessun stress termico
+9° a 0°	Leggero stress da freddo
0° a -13°	Stress moderato da freddo
-13° a -27°	Forte stress da freddo
-27° a -40°	Stress molto forte da freddo
Inferiore ai -40°	Stress estremo da freddo

## 9.2 Temperatura media radiante

La temperatura media radiante o semplicemente la  $T_{mrt}$  va a definire come la temperatura uniforme di un area delimitata da barriere immaginarie in cui il trasferimento di calore radiante dal corpo umano è uguale al trasferimento di calore radiante nell'attuale recinto non uniforme, concettualmente, infatti, la Temperatura media radiante viene utilizzato per quantificare lo

scambio di calore radiante tra un essere umano e l'ambiente circostante, al fine di comprendere l'influenza delle temperature superficiali sul comfort personale la temperatura media radiante è stata sia qualitativamente definita che quantitativamente valutata sia per ambienti interni che esterni; utile in quanto lo scambio netto di energia radiante tra due oggetti è approssimativamente proporzionale al prodotto della loro differenza di temperatura moltiplicato per la loro emissività, ovvero la capacità di emettere e assorbire calore.

La temperatura media radiante è semplicemente la temperatura media ponderata dell'area di tutti gli oggetti che circondano il corpo preso come riferimento. Ciò è significativo fintanto che le differenze di temperatura degli oggetti sono piccole rispetto alle loro temperature assolute, consentendo la linearizzazione della legge di Stefan-Boltzmann nell'intervallo di temperatura pertinente.

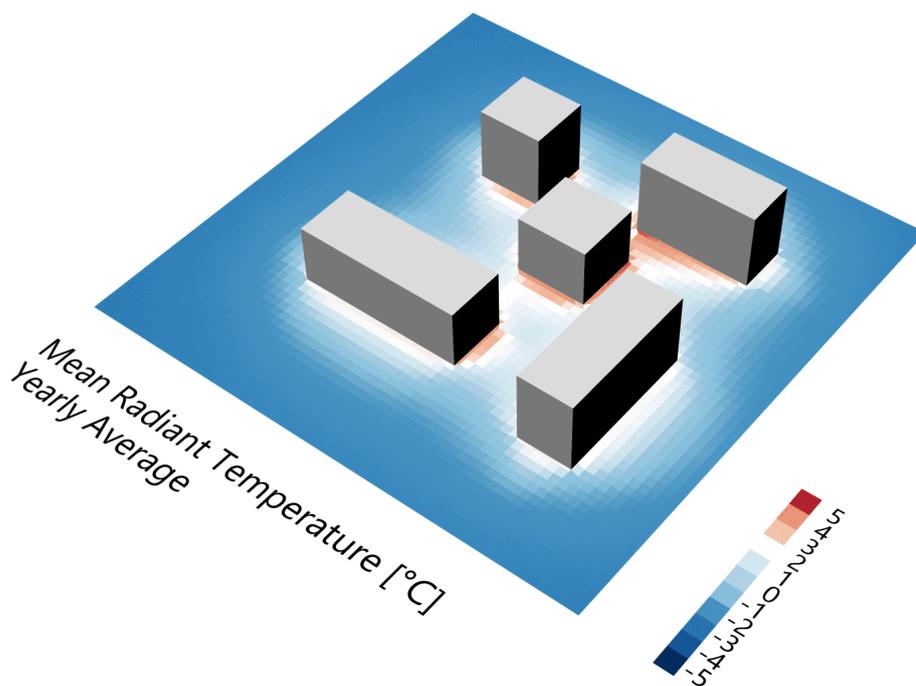


Fig. 15 andamento urbano della temperatura media radiante

In ambienti esterni, la temperatura media radiante è influenzata dalla temperatura dell'aria ma anche dall'irraggiamento del calore assorbito dai materiali utilizzati nei marciapiedi, nelle strade e negli edifici può essere mitigato dalla copertura arborea e dallo spazio verde, che fungono da fonti d'ombra e favoriscono il raffreddamento evaporativo, la temperatura media radiante sperimentata all'aperto può variare notevolmente a seconda delle condizioni locali; ciò che

sperimentiamo e sentiamo relativamente al comfort termico in un edificio è legato all'influenza sia della temperatura dell'aria che della temperatura delle superfici in quello spazio, rappresentata dalla temperatura media radiante. L'MRT è controllato dalle prestazioni della custodia per questo la temperatura media radiante ha anche una forte influenza sugli indici di comfort termico fisiologico come la temperatura fisiologica equivalente (PET) e sull'indice termico universale del clima (UTCI).

La misurazione è influenzata dal movimento dell'aria perché il valore della temperatura globale misurata dipende sia dalla convezione che dal trasferimento di radiazione andando ad aumentare efficacemente le dimensioni di questo valore, il coefficiente di trasferimento per convezione viene ridotto e l'effetto della radiazione viene proporzionalmente aumentato a causa delle correnti d'aria convettive locali; la temperatura globale si trova tipicamente tra la temperatura dell'aria e la temperatura media radiante, più velocemente l'aria si muove sopra il globo termometro, più GT si avvicina alla temperatura dell'aria; Inoltre, poiché l'MRT è definito rispetto al corpo umano, anche la forma del sensore è un fattore determinante. La forma sferica del globo termometro fornisce una ragionevole approssimazione di una persona seduta; per le persone in piedi, il globo, in un ambiente radiante non uniforme, sovrastima la radiazione dal pavimento o dal soffitto; quindi, un sensore ellissoide fornisce una migliore approssimazione.

$$T_{mrt} = [(GT + 273,15)^4 + 2.5 * 10^8 * v_a^{0.6}(GT - T_a)]^{1/4} - 273,15$$

$T_{mrt}$  = è la temperatura media radiante (C°)

GT = è la temperatura globale (C°)

$v_a$  = è la velocità del vento (m/s)

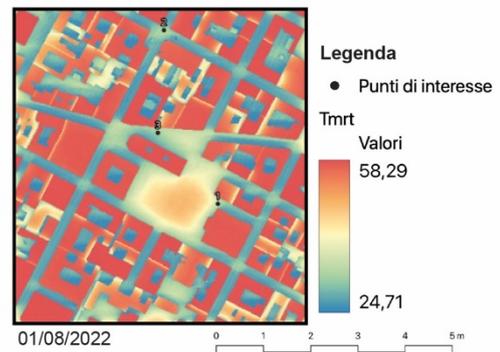
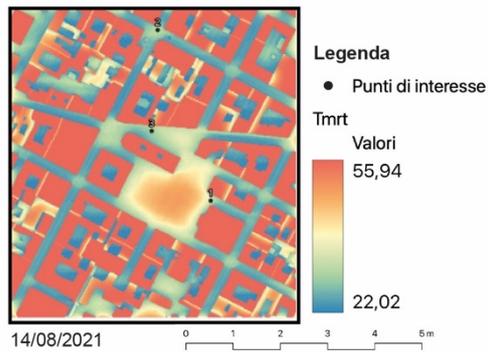
$T_a$  = è la temperatura dell'aria (C°)

Dunque in relazione a queste considerazioni e a quanto detto su come funziona e si calcola il parametro della temperatura media radiante e di quanto sia importante per individuare gli indici di comfort termico urbano PET e UTCI sarà possibile calcolare questo parametro grazie all'utilizzo, come già detto, del software Umep SOLWEIG e dei parametri richiesti e già calcolati in precedenza che nello specifico sono: Wall Aspect, Wall High, DTM, DSM, TDSM, CDSM, Land Cover, l'abbigliamento giornaliero, il tipo di attività umana e i dati meteorologici orari delle singole zone prese in esame; per quanto riguarda queste ultime tre i valori che sono stati presi in

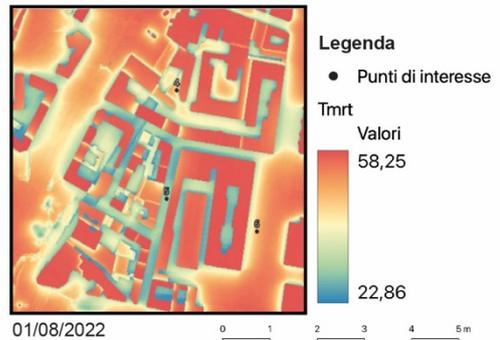
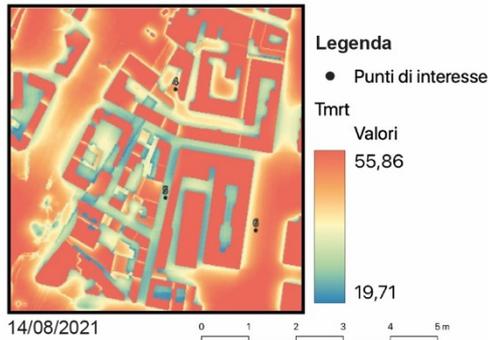
esame sono un tipo di attività con valori di  $110 \text{ Wm}^2$  e quindi un'attività di camminata di almeno 2km con valori di abbigliamento di 0,50 Clo e quindi un abbigliamento standard leggero ed in fine I dati meteorologici orari giornalieri strutturati tramite un file di testo ove sono presenti tutti i parametri richiesti da Umap SOLWEIG individuati tramite. Le date di riferimento del 14/08/2021 e del 01/08/2022.

### Confronto temperatura media radiante 14/08/2021 e 01/08/2022

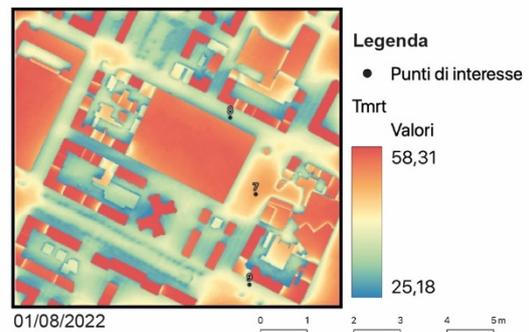
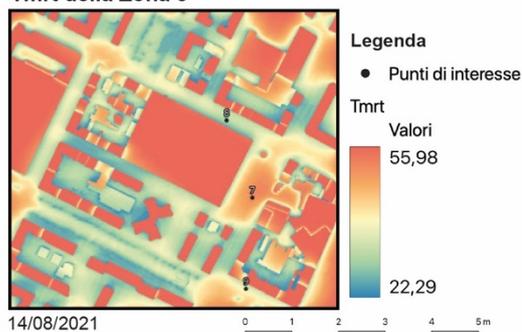
**Tmrt della Zona 1**



**Tmrt della Zona 2**

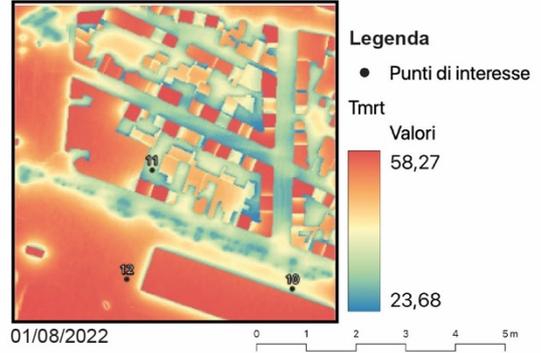
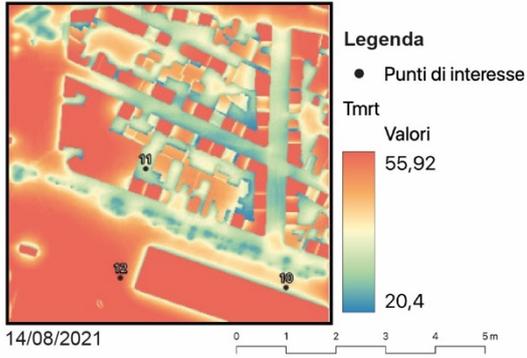


**Tmrt della Zona 3**

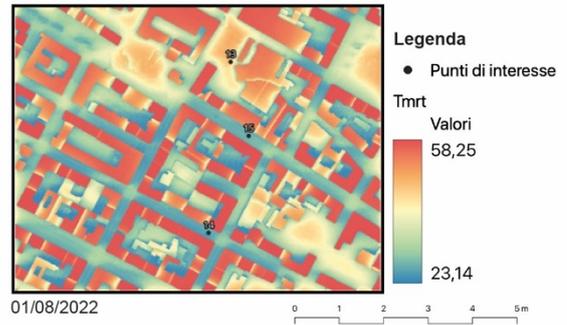
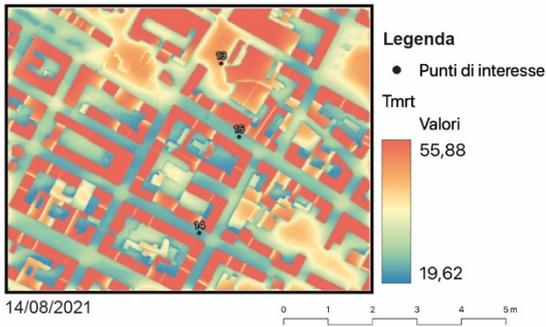


Confronto temperatura media radiante 14/08/2021 e 01/08/2022

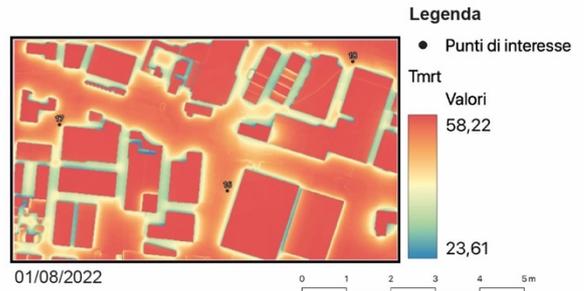
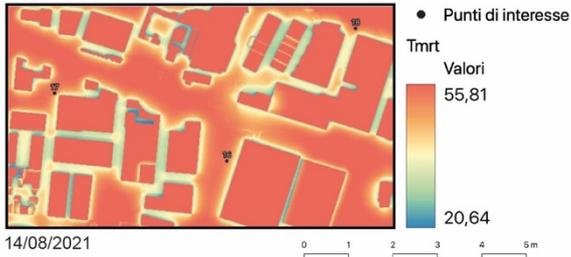
Tmrt della Zona 4



Tmrt della Zona 5



Tmrt della Zona 6



Come. Si può vedere dai risultati i valori delle due. Stazioni di riferimento tengono conto di una serie di fattori di fattori per cui troviamo diversi riferimenti e confronti per la quale è stato utile svolgere un confronto in due periodi di riferimento differenti in diverso anno ovvero il 2021 e il 2022, l'unica cosa in comune è appunto il periodo estivo che permette dunque di non solo di svolgere un confronto tra la variazione della temperatura media radiante ma anche. Con i valori degli indici di comfort termico PET e UTCI; un altro aspetto fondamentale che ho considerato , all'interno della mia tesi, sono stati i risultati, infatti, il processo di realizzazione del file tramite Umep SOLWEIG della temperatura media radiante fornisce dei risultati per ogni singola fascia oraria giornaliera e dunque si può verificare qual è il variare dei valori della  $T_{mrt}$  ad ogni singola ora, ma il calcolo tramite Umep SOLWEIG fornisce anche un file di sintesi della  $T_{mrt}$  che. Individua i valori medi nell'arco dell'intera giornata di questo parametro.

Andando a svolgere una mia prima considerazione per quanto riguarda i risultati ottenuti della temperatura media radiante si nota dalle cartografie tematiche che i valori visto la loro influenza della temperatura dell'aria, dell'umidità e temperatura globale si riscontra come quest'ultimi presentano valori direttamente proporzionali a quelli della temperatura media radiante e quindi si mantiene una coerenza sull'andamento in crescita dal 2021 al 2022, si nota infatti come da un anno all'altro la  $T_{mrt}$  è aumentata di  $+3^\circ$  per quanto riguarda i valori massimi e invece  $+2,5^\circ$  i valori minimi; infatti in generale, nonostante la distanza tra una zona e l'altra i valori tra minima e massima tra un periodo di riferimento e l'altro rimangono praticamente uguali infatti nel 2021 troviamo una  $T_{mrt}$  min di  $20^\circ$  e una  $T_{mrt}$  max di  $55^\circ$  invece quanto riguarda il 2022  $T_{mrt}$  min di  $23^\circ$  e una  $T_{mrt}$  max di  $58^\circ$ .

Infatti, in conformità ai valori minimi e massimi si nota come vi sia un aspetto fondamentale morfologico che permette di rilevare valori minimi e che dunque suddetti fattori vanno a mitigare e a ridurre le alte temperature della  $T_{mrt}$ , suddetti aspetti morfologici sono riconducibili alla disposizione dell'edificato e dai materiali che compongono suddetta area urbana; nello specifico si può già in parte individuare questa caratteristica ed è riconducibile alla stretta vicinanza tra un edificio e l'altro ove appunto si possono identificare dei canyon urbani e dall'altra parte è individuabile nella presenza lungo il tessuto urbano di parchi, aree verdi e viali alberati che vanno a creare delle aree azzurre, ove i valori sono vicino al minimo, dove portano a ridurre drasticamente i valori della  $T_{mrt}$  ed inoltre comporta come in suddette zone vi siano meno possibilità che si formino UHI, un esempio molto chiaro lo troviamo nella zona 3 dove in una delle vie si nota un viale alberato per la quale si nota che si crea un gap climatico per la quale nel viale alberato vi sia una  $T_{mrt}$  con valori molto più bassi rispetto alle strade antistanti ove presentano valori molto più elevati che si avvicinano maggiormente ai valori massimi della  $T_{mrt}$ , a confermare ciò vi è la demarcazione tra il colore azzurro del viale alberato e il rosso delle altre strade.

D'altro canto, si nota come le zone azzurre, fatta eccezione a zone come la 1 e la 5, sono prevalentemente inferiori a quelle tendenti all'arancione e dunque i valori massimi presenti legati anche. A materiali presenti che. Influiscono sulle. Costanti che. Vanno a dare. Il valore della temperatura media radiante; questo aspetto si riscontra per, tutti i risultati che in relazione al loro costante essere sotto il flusso delle. Radiazioni solari che. Li porta ad analizzare la temperature delle coperture e quindi derivarne valori elevati.

Da questa prima analisi, infatti, è stata utile come un inquadramento iniziale di come. Si sviluppa il fenomeno delle UHI e della  $T_{mrt}$  nei diversi casi studio per entrambi i periodi di riferimento del 2021 e 2022, però ho ritenuto che questo confronto necessitasse di un approfondimento più dettagliato e dunque andare a verificare in che condizione e con quale intensità suddetti valori si sono intensificati e per questo ho sfruttato i punti di interesse, utilizzati in precedenza per la LST per andare a visualizzare in maniera dettagliata quanto varia la  $T_{mrt}$  dal 2021 al 2022 nelle diverse zone; per questo per ogni singola zona sono stati individuati 3 punti di riferimento da cui sono stati rilevati dei valori per la quale sono andato a rintracciare le cause del loro andamento e del loro incremento da un periodo di riferimento all'altro:

#### Valori per punti di interesse della temperatura media radiante

Casi Studio	Zone	Tmrt 14/08/2021	Tmrt 01/08/2022
Area 1	1	33,46	34,58
	2	32,4	33,01
	3	30,55	30,99
Area 2	4	37,23	38,07
	5	28,61	30,41
	6	47,83	47,09
Area 3	7	50,09	51,06
	8	29,89	34,23
	9	38,69	39,75
Area 4	10	37,16	40,36
	11	32,34	34,85
	12	56,36	54,89
Area 5	13	45,81	45,8
	14	25,55	27,77
	15	33,42	36,42
Area 6	16	51,55	51,76
	17	51,09	50,99
	18	51,3	52,29

Da questi risultati si nota come in relazione alle considerazioni fatte in precedenza i valori dei singoli punti di interessi vi è sempre un incremento della temperatura media radiante di +3°; vi

sono però delle eccezioni per la. Quale. I valori in questi punti non sempre sono costanti su questo valore di incremento; infatti, in conformità a quanto detto alla disposizione dell'edificio ed alla presenza di aree verdi in alcuni punti la variazione dal 2021 al 2022 è inferiore al +3° o addirittura si trovano casi per la quale i valori di  $T_{mrt}$  tra il 2021 e 2022 si sono ridotti, ne è un caso ovvio quello delle Zone 2 e 6 dove troviamo dei valori chiaramente elevati per la quale si è verificato una mitigazione.

Nello specifico troviamo come nella. Zona 2 in suddetto punto di interesse la  $T_{mrt}$  si è abbassata da 47,83°C nel 2021 a 47,09°C nel 2022 invece per quanto riguarda la Zona 6 la  $T_{mrt}$  si è abbassata da 51,09°C a 50,91°C, infatti se andiamo ad osservare le cartografie in entrambi si riscontra come. Troviamo per entrambi i casi due piccoli spiazzati circondati da edifici o anche a livello di cartografia si nota questa variazione tra i due periodi di riferimento; nella zona 2 l'essere circondato da verde urbano che. Crea una. Barriera vegetale tra gli edifici ha ridotto l'intensità dei valori più elevati e facendo mitigare parzialmente l'arancione sicuramente meno evidente rispetto alla cartografia del 2021 e che. Ha portato ad una prevalenza di giallo; invece, se andiamo ad osservare cosa succede nella Zona 6 si nota come suddetto fenomeno riguarda la stretta vicinanza ad una serie. Di fabbricati industriali che rappresentano una forma di schermatura artificiale che ha permesso di ridurre questo fenomeno, d'altro canto non ha aiutato nella mitigazione probabilmente il materiale di stratificazione di questa piazzetta visto che probabilmente è lo stesso cemento usurato che caratterizza le strade limitrofe e che in conformità degli altri punti di interesse presenti i valori sono costantemente alti tra i 50°C.

Infatti, in questa zona costantemente sotto l'influenza dei raggi solari impedisce la mitigazione e l'abbassamento delle temperature sia dell'aria, che degli altri indici che. Influenzano sulla  $T_{mrt}$ , infatti risulta ovvio il fatto che nella Zona indifferentemente che. I valori si abbassino o alzino tra il 2021 e il 2022 troviamo pur sempre valori strettamente vicini al massimo dei due periodi, ciò è motivato dal tipo di tessuto urbano tipico delle aree industriali.

Per quanto riguarda le altre zone si nota come i risultati delle altre zone e dei loro rispettivi punti di interesse sono in maniera significativa più bassi rispetto alla Zona 6 ed è evidente come infatti si nota una differenza di 15°C di temperatura media radiante, questo aspetto è riconducibile. In relazione alla diversa morfologia rispetto a quella industriale della Zona 6, infatti si nota come molte di queste zone delineano aspetti per la quale la disposizione dell'edificio e la presenza di zone. Verdi ha permesso di ridurre questo fenomeno; si nota che. Gran parte dei punti di interessi sono posizionati in mezzo a strade o, di cui alcune soggette a canyon urbani, gli edifici sono posti agli estremi della strada generando un fenomeno di mitigazione e quindi si riscontrano in generale valori che si aggirano tra i 28° e 37°C nel 2021 e tra i 30° e 38° nel 2022 e dunque un incremento minimo di +1° rispetto all'incremento medio di +3°C

Vi sono però delle altre zone, ove presentano valori pari a quelli poco fa descritti, ove ho riscontrato andamenti nei punti di interesse ove la  $T_{mrt}$  presenta valori molto alti, rispetto allo standard, e per cui si avvicinano a valori pari a  $50^\circ$ ; nello specifico mi riferisco alle zone 3, 4 e 5 dove presentano entrambi almeno un punto di interesse ove la  $T_{mrt}$  è superiore ai  $45/50^\circ\text{C}$  sia nel 2021 che nel 2022, infatti troviamo come per ciascuna zona i valori dei punti di interesse sono: di  $50,09^\circ\text{C}$  nel 2021 e  $51,06^\circ\text{C}$  nel 2022 per la Zona 3, di  $56,39^\circ\text{C}$  nel 2021 e di  $56,86^\circ\text{C}$  nel 2022 per la Zona 4 ed in fine di  $45,81$  nel 2021 e di  $45,90$  nel 2022 per quanto riguarda la Zona 5.

Da questi parametri quello che. Risalta di più è quello della Zona 4 dove troviamo il punto di interesse con i valori di  $T_{mrt}$  più alto rispetto le altre zone presenti infatti risulta di  $+5^\circ\text{C}$  più alto rispetto ai valori rilevati nella zona 6; infatti non si può nemmeno porre un paragone rispetto a quest'ultima anche in relazione alle caratteristiche morfologiche presenti che. Sono diametralmente opposte fatta eccezione dei materiali che la compongono; ma entrando nello specifico per la quale suddetta Zona presenta un punto di interesse con suddetti valori anomali è riconducibile alla presenza di una Superficie coperta vasta scala da cemento, inoltre la destinazione d'uso di questa zona, ovvero dell'auto rimessa, non favorisce a ridurre i valori che influiscono sulla temperatura media radiante, infatti, questa zona molto vasta e con nessuna presenza di verde e livelli di schermatura quasi inesistenti porta ad avere temperature dell'aria molto alte, inoltre come detto la destinazione d'uso non aiuta vista la presenza di auto che. Per le caratteristiche fisiche dei materiali che le compongono hanno una. Pessima capacità di trasmettere il calore anzi incentivando il rilascio e una delle possibili cause che alimenta il fenomeno delle UHI e quindi livelli di stress, come vedremo, pessimi.

In fine, l'ultimo aspetto che si nota da questa analisi riguarda uno dei risultati che. Si riscontra in tutte e sei le Zone ovvero i valori presenti nelle coperture degli edifici, infatti, presentano valori per la quale si aggirano attorno ai valori massimi individuabili ovvero di  $55^\circ\text{C}$  nel 2021 e di  $58^\circ\text{C}$  nel 2022 ed individuabili con il colore arancione scuro d'altro canto in alcune Zone si notano aree ove il colore è più chiaro per le coperture e quindi dei valori della  $T_{mrt}$  molto più bassi rispetto ai valori medi delle altre coperture e che è riconducibile alle altezze degli edifici infatti un chiaro esempio ove. È evidente questa caratteristica sono le zone 1 e 4, dove si nota come coperture ove il colore è più tendente al giallo presentano attorno a loro edifici di colore più scuro tendente all'arancione e la causa principale è che quest'ultimi fungono da schermatura e riducono l'influenza delle radiazioni del sole riducendo i valori in quella zona della temperatura dell'aria rispetto alla temperatura globale complessiva.

Di conseguenza però gli altri edifici si trovano inevitabilmente sotto l'influenza perenne delle radiazioni solari che portano le. Superfici a surriscaldarsi e ad essere uno dei fattori scatenanti dell'innalzamento della temperatura media radiante nelle coperture, inoltre come si può

verificare dalle immagini satellitari e dai risultati nemmeno nelle zone. In ombra delle coperture a falde si riesce a identificare una sorta di differenza nella cartografia tematica legata alle caratteristiche morfologiche delle coperture a falde.

### 9.3 Risultati indici di comfort termico

Dagli studi fatti e in relazione alle considerazioni fatte è chiaro come tra la temperatura media radiante e gli indici di comfort termico vi sia una stretta relazione e nello specifico come vedremo i valori della  $T_{mrt}$  in relazione a quanto sono critici o no possono portare risultati per la quale gli indici di comfort possono essere fonte di stress termico e generare disagio fisico e psicologico per le. Persone e l'ambiente; l'importanza di questo fattore per gli indici di comfort termico lo troviamo anche per quanto riguarda i calcoli che si possono svolgere tramite il software Ump SOLWEIG, infatti grazie ad una determinata funzione è possibile applicare la possibilità di calcolare gli indici PET e UTCI rispetto alla  $T_{mrt}$  dell'area interessata.

Per svolgere questa tipologia di integrazione sarà necessario sfruttare una metodologia di cui ho già sfruttato in precedenza ovvero tramite dei punti di interesse che il software Ump SOLWEIG denomina come POI, nello specifico per poter svolgere questo procedimento Ump SOLWEIG impone delle regole specifiche a fin che vengano dati dei risultati del PET e UTCI che siano in funzione della temperatura media radiante; per questo verranno individuati due punti di interesse denominati POI 1 e POI 2 che dovranno rispecchiare le caratteristiche, uno di una piazza e l'altro di un giardino, inoltre per essere coerente con gli altri punti di interesse precedenti i POI verranno posizionati in prossimità di quest'ultimi.

**Risultati Universal Climate Thermal Index (UTCI)**

	2021		2022	
	POI1	POI2	POI1	POI2
Zona1	25,69	29,95	28,58	32,47
Zona2	30,99	30,95	33,6	33,58
Zona3	25,87	30,22	29,03	32,75
Zona4	29,04	31,31	31,65	34,67
Zona5	29,26	27,01	31,72	29,83
Zona6	31,44	31,64	34,18	34,44

### Risultati Physiological Equivalent Temperature (PET)

	2021		2022	
	POI1	POI2	POI1	POI2
Zona1	25,81	34,95	29,31	37,3
Zona2	37,9	37,92	39,45	39,8
Zona3	25,61	35,96	29,95	38,05
Zona4	32,81	41,62	33,72	42,92
Zona5	32,76	28,31	33,91	31,68
Zona6	40,61	40,83	41,71	42,27

Dunque, dai risultati se andiamo a confrontare i valori in relazione alla normativa si può constatare, e come approfondito in precedenza ci si aspettava, entrambi i punti di interesse POI1 e POI2 sono fortemente influenzati dal comportamento della temperatura media radiante, infatti si nota dai risultati come ove i valori della  $T_{mrt}$  sono particolarmente elevati anche il livello di comfort termico del PET e UTCI di quelle determinate Zone sono proporzionate; infatti se prendiamo come punto di riferimento la Zona 6 che come abbiamo già visto più volte in precedenza per le caratteristiche morfologiche urbane presenti si è sempre prestato come zona critica e facilmente soggetta al fenomeno delle isole di calore, anche in questo frangente troviamo come la Zona 6 presenta valori molto alti di PET e UTCI in entrambi i periodi di riferimenti ovvero: 31,5 nel 2021 e 34,3 nel 2022 per quanto riguarda l'UTCI ed invece di 40,70 nel 2021 e 42,0 nel 2022 per quanto riguarda il PET; in relazione alla normativa ed alla classificazione ne deriva che per entrambi gli indicatori costituisce uno stress termico molto elevato addirittura per il PET considerato dannoso per l'uomo, per questo in relazione alla zona in cui si trova e per gli standard di persone che svolgono principalmente un'attività lavorativa in cui comporta di muoversi in continuo può essere dannoso per l'individuo e generare un grave discomfort fisico e mentale.

Le altre zone, che secondo i risultati, presentano livelli significativi per la quale ho ritenuto di approfondire le cause riguardano la zona 2 e la Zona 4, infatti in entrambe le casistiche troviamo dei risultati per la quale si riscontra risultati anomali per entrambi i punti di interesse POI 1 e POI 2 infatti se analizziamo singolarmente i valori ottenuti in entrambi i periodi di riferimento si nota come nella Zona 2 non vi sia differenza tra un punto di interesse e l'altro nonostante debbano individuare due contesti aperti differenti, ovvero una area verde e una piazza cementata, infatti si riscontra come i valori medi di entrambi i punti di interesse in entrambi i periodi di riferimento sono di 30,9 nel 2021 e di 33,5 nel 2022 per l'UTCI e di 37,9 nel 2021 e di 39,8 nel 2022 per il PET con un incremento di +2 per entrambi i due indici di comfort; la possibilità di

riassumere in un valore medio è anche in relazione al fatto che. La differenza tra il POI1 e POI2 è proprio di valori di centesimi e per questo indistinguibili nonostante le caratteristiche morfologiche ed in fatti riconducibile all'alta densità edificatoria e alla presenza possibile di canyon urbani ha portato i valori della temperatura media radiante delle zone verdi a non avere differenza rispetto alla piazza, e ciò costituisce un aspetto negativo anche in relazione al fatto che. L'area verde dovrebbe costituire una fonte di mitigazione ma che in questo frangente per le caratteristiche presenti non è sufficiente.

Al contrario se consideriamo la Zona 4 troviamo che i valori anomali sono particolarmente elevati e si riscontra come vi sia una drastica distinzione tra il punto di interesse POI2 rispetto al POI1 ove troviamo come il primo valore presenti valori di stress estremo sia nel 2021 ed ancora peggio nel 2022 aumentando da 41 a 43 per quanto riguarda il PET ed al contrario l'UTCI risultano valori meno intensi per quanto riguarda lo stress termico passando da un livello moderato di 31 nel 2021 aumentando nel 2022 a 34 e quindi causando un discomfort termico con livelli forti di stress; ciò è legato al fatto che il POI 2 è individuata nella seconda area più drammatica che. È risultata venir fuori dalle mie analisi ovvero quella situata nell'autorimessa ove come. Abbiamo già discusso ampiamente nei precedenti capitoli presenta diverse caratteristiche per la quale non vi sono fattori per la quale sia possibile mitigare il clima ed addirittura per quanta riguarda la  $T_{mrt}$  presenta valori drammaticamente più critici dell'area industriale della Zona 6.

Al contrario per quanto riguarda le altre zone, ovvero le Zone 1, 3 e 5, troviamo come i valori dei punti di interesse POI1 e POI2 siano molto simili fra di loro e vi siano differenze non particolarmente marginali fatta eccezione per la Zona 5 leggermente più alti, e dove vi si noti la differenza a livello di comfort termico tra aree verdi e spiazzi cementati ; la criticità che si riscontra riguarda univocamente l'aumento di temperatura da un periodo di riferimento e l'altro ove lo stress termico ha subito un aumento di classe sia per il PET che per l'UTCI infatti se entriamo nello specifico della normativa si nota come le aree verdi per entrambe le tre zone hanno visto passare da nessuno stress termico a uno stress moderato per i valori ed al contrario per quanto riguarda le piazze e spiazzi cementati i valori hanno subito un cambio di classe rispetto alla normativa da stress moderato a forte stress termico, suddetta considerazione vale sia per i valori ottenuti dal PET che. Dall'UTCI ed è riconducibile suddetta variazione all'incremento della temperatura dell'aria e di quella globale.

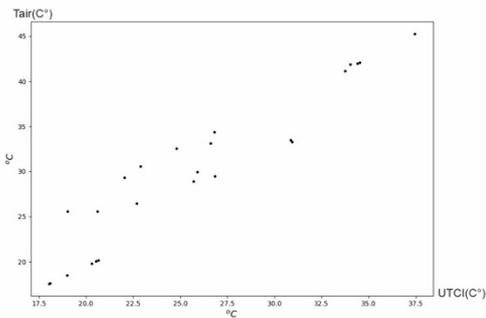
Da questo calcolo ho voluto integrare degli ulteriori grafici che grazie all'ausilio di una funzione del software Umep SOLWEIG permette di visualizzare l'andamento orario giornaliero del comfort termico urbano di PET e UTCI in entrambi i periodi di riferimento, ciò è stato utile in conformità alla volontà di confrontare l'andamento di questi due valori sia per metterli a confronto sulle. Variazioni di andamento tra il 2021 ed il 2022 ma anche vedere se vi fossero delle similitudini

rispettivamente tra le diverse zone e dunque fosse possibile raggrupparli in delle macrocategorie per la quale poi svolgere degli ulteriori approfondimenti su delle varianti che possano mitigare il fenomeno del UHI e migliorare il comfort termico.

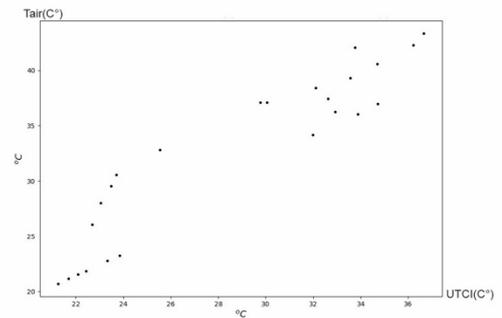
### Risultati grafici UTCI

#### UTCI Zona 1

2021

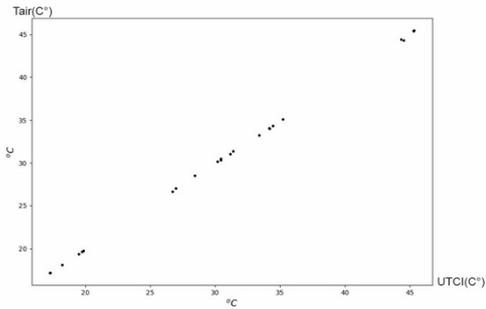


2022

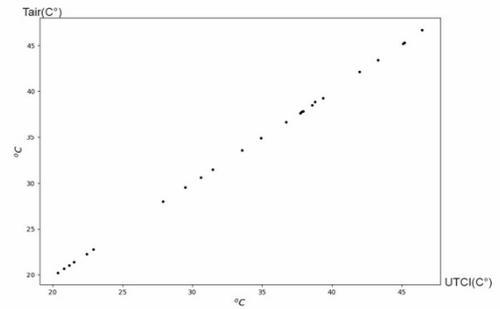


#### UTCI Zona 2

2021

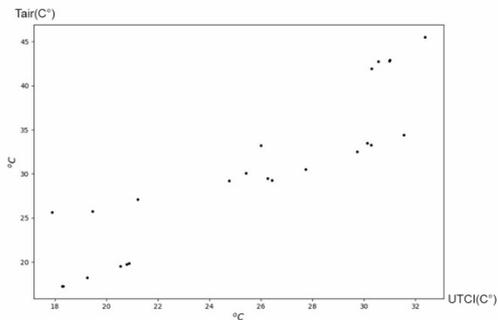


2022

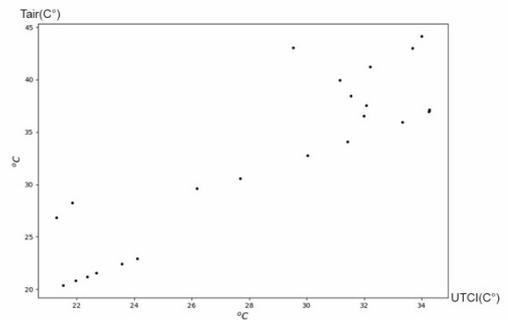


#### UTCI Zona 3

2021

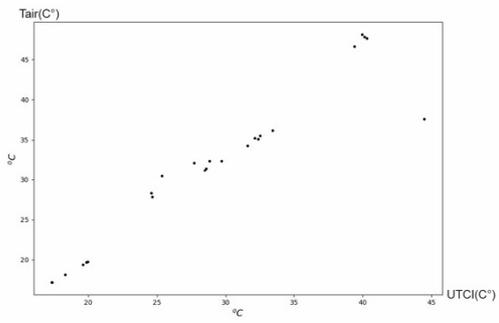


2022

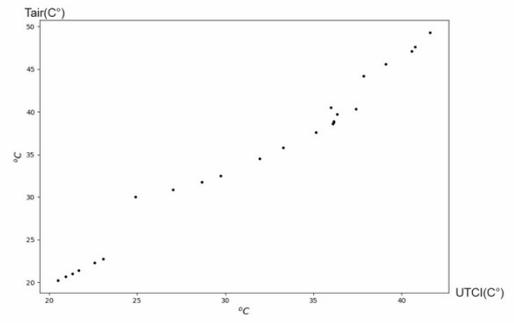


## Risultati grafici UTCI

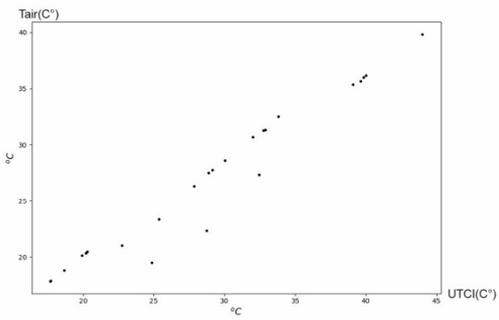
**UTCI Zona 4**  
2021



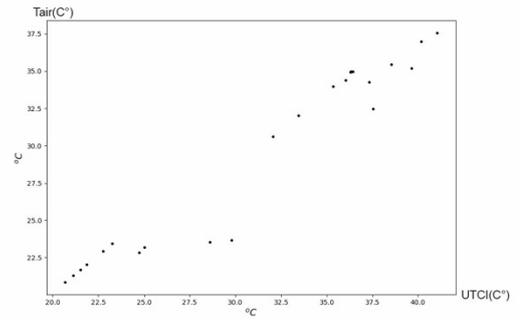
2022



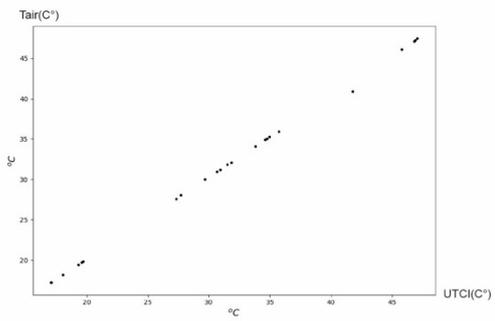
**UTCI Zona 5**  
2021



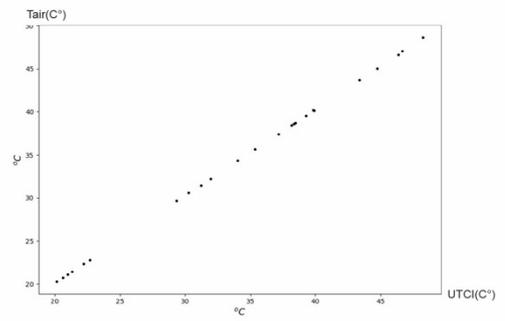
2022



**UTCI Zona 6**  
2021



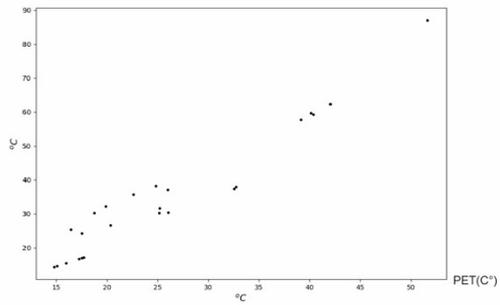
2022



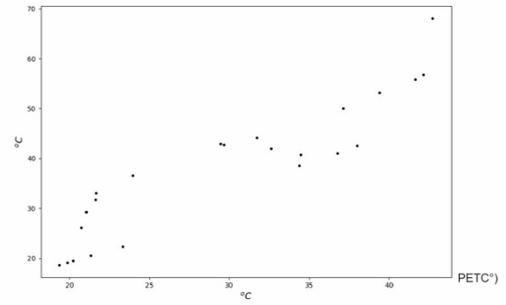
## Risultati grafici PET

### PET Zona 1

2021

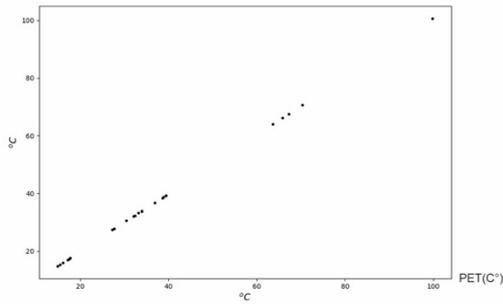


2022

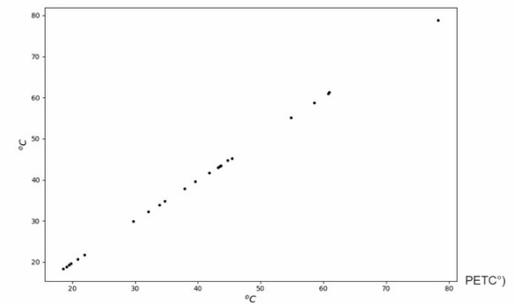


### PET Zona 2

2021

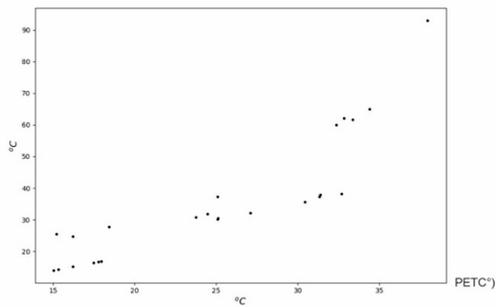


2022

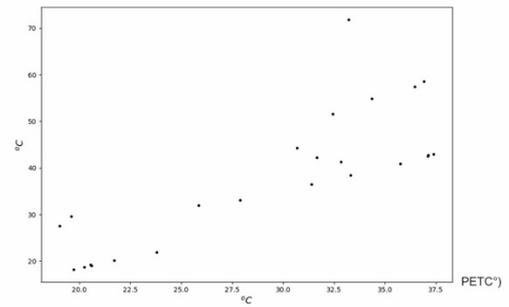


### PET Zona 3

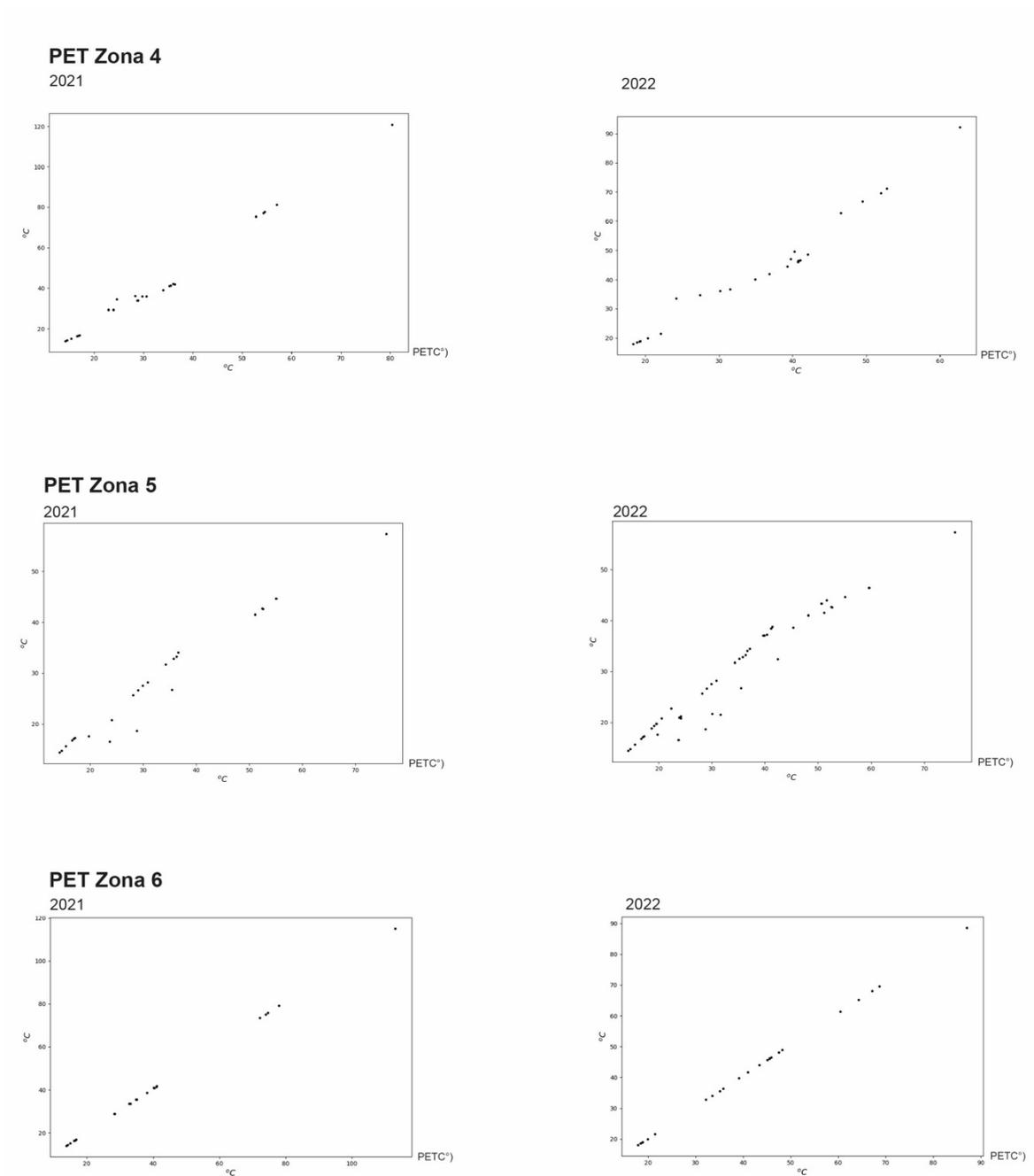
2021



2022



## Risultati grafici PET



Dai risultati si riscontra come l'andamento giornaliero tra una zona è caratterizzato dalla chiara influenza della temperatura media radiante, infatti, i risultati sono ottenuti, per entrambe le casistiche di comfort mettendo in relazione i valori della Tmrt nell'asse delle x e i valori degli indici di comfort UTCI e PET nell'asse delle y; confronto di questi due valori orari nell'arco delle giornate dei due periodi di riferimento hanno messo in luce caratteristiche per la quale vi siano differenze

particolarmente evidente, infatti, come si noti che la differenza tra alcune zone ed altre diametralmente chiara, al contrario tra un periodo di riferimento e l'altro, nonostante i valori di temperatura e comfort hanno subito un innalzamento, si denota come non vi sia stato una variazione dell'andamento giornaliero delle sei Zone prese come punti di riferimento, si riscontrano però alcune casistiche per la quale si è verificato in alcuni punti dell'andamento giornaliero delle variazioni dei punti tra un periodo di riferimento e l'altro, ma sono marginali, al punto che se si confrontano i valori tra il 2021 e il 2022 sia per quanto l'UTCI e PET si riconosce l'andamento molto simile dei valori orari.

Per questo se si va ad osservare singolarmente ogni singola zona si riscontra che le aree il cui cambiamento è più evidente è ove l'andamento orario giornaliero di PET e UTCI è discontinuo, infatti, se nel 2021 questa discontinuità mantiene una sottospecie di regolarità al contrario nel 2022 con l'aumento dei valori della  $T_{mrt}$  ha portato a sbilanciare ancora di più questo sviluppo perdendo ancora di più questa linea guida e quindi rendendoli ancora più discontinua, l'esempio più evidente di quanto detto è la Zona 3 ove già nel 2021 presentava dei balzi di temperatura passando, durante l'arco della giornata, livelli di stress moderato fino a raggiungere livelli estremi ed insostenibili legato a sbalzi della temperatura causati dal contesto urbano ad alta densità edificatoria che ha portato alla variazione dell'andamento delle ombre portate degli edifici e quindi nelle aree prese in esame ; al contrario troviamo altre zone per la quale il confronto dei valori orari della  $T_{mrt}$  ha portato dei risultati per la quale l'andamento del comfort termico giornaliero è pressoché diagonale pressoché perfetta anche se i punti sono disposti ad intervalli differenti lungo questo asse descritto, questo aspetto è riconducibile, anche in questa casistica, al livello di densità, infatti in relazione al posizionamento dei punti di interesse posti in zone per cui troviamo vaste aree e spiazzi fa in modo che. I valori di stress crescano linearmente ai valori della temperatura dell'aria e quindi essendo zone della città perennemente esposte porta a una crescita lineare della temperatura.

Dunque, da questa analisi si può riconoscere come l'andamento dei grafici, fatta eccezione per alcune casistiche che presentano delle variazioni marginali, si nota come questi grafici presentano un'andamento degli indici di comfort termico che si possono suddividere in due Macro categorie ovvero le zone ove è presente un andamento discontinuo e quelle ove l'andamento orario è lineare e segue perfettamente la linea della diagonale che parte dal punto zero dell'asse x/y; da questa considerazione ho ritenuto importante porre la domanda di quale fossero le motivazioni per la quale una determinata zona presentasse quel determinato andamento di comfort termico lineare e perché altre zone avessero un andamento altalenante e discontinuo nelle diverse fasce orarie, infatti andando ad osservare tutti i risultati ottenuti dal calcolo di questi indici è risultato

influenzato da parametri precedentemente utilizzati per valutare l'intensità e la quantità per zona delle UHI.

Per questo a confermare ciò ovvero il legame tra la  $T_{mrt}$ , esposizione, e i diversi indici urbani sono dei fattori strettamente correlati fra di loro e sono aspetti significativamente influenzanti per quanto riguarda il comfort termico urbano al punto che in relazione al tipo di tessuto urbano si denota come possano generarsi un determinato andamento; infatti in relazione ai fattori che influenzano sia sulle UHI che gli indici di comfort termico si distinguono tre gruppi di cui il primo è legato ai canyon urbani, il secondo gruppo è legato alla presenza di vaste aree e spazi cementati e all'esposizione ed in fine il terzo macro gruppo è legato alla disposizione la disposizione dell'edificio e dunque al suo orientamento che influisce sul contesto portando un'esposizione maggiore alle radiazioni del rosso e del vicino infrarosso.

- **ANDAMENTO LEGATO AI CANYON URBANI:** Zona 1, Zona 3
- **ANDAMENTO LEGATO A VASTE AREE E SPAZZI CEMENTATI:** Zona 2, Zona 6
- **ANDAMENTO LEGATO ALL'ORIENTAMENTO E ALL'ESPOSIZIONE:** Zona 4, Zona 5

Riprendendo l'aspetto che riguarda l'orientamento e quindi quest'ultima macro-categoria riguardante le Zone 4 e 5 bisogna specificare a che tipologia di contesto fanno riferimento all'esposizione e all'orientamento MOS degli edifici rivolti a est-ovest, questo aspetto come anche UHI va a influenzare in maniera diretta la  $T_{mrt}$  e di conseguenza anche gli indici di comfort termico PET e UTCI; per quanto riguarda queste due Zone troviamo come le aree ove sono stati svolti il calcolo dell'andamento orario giornaliero sono caratterizzate da due contesti differenti, ma al contrario l'orientamento dei diversi edifici differente rispetto alle altre zone posto ad essere maggiormente influenzato dalle radiazioni solari rispetto alle altre zone porta ad avere un andamento giornaliero del comfort termico ove nelle temperature dell'aria media ha determinato un abbassamento degli dei valori degli indici di PET e UTCI legata anche ai valori relativamente più bassi della densità urbana, infatti se paragonata a zone come la 1 e la 3, ove c'è una grande prevalenza di canyon urbani, l'andamento dei grafici risultano più regolari anche perché come detto l'orientamento est-ovest ha portato ad avere un'esposizione maggiore a zone con presenza di canyon urbani infatti troviamo zone, come la 5, ove i livelli di densità della BD sono identici a quelli della Zona 3.

D'altro canto l'orientamento differente rispetto alle altre zone ha portato ad avere queste variazioni di tipo positivo per quanto riguarda la Zona 4 ma al contrario se osserviamo la Zona 5 troviamo come vi è un incremento negativo degli indici di comfort in relazione ai valori più bassi della temperatura dell'aria a causa di una densità urbana relativamente maggiore rispetto a

quella della Zona 4 ove il miglioramento del PET e UTCI in valori miti per il primo indice e nessun stress termico per il secondo ha determinato come il fattore fondamentale per la mitigazione e miglioramento in questa zona è legata alla vasta area verde presente a nord-est del caso studio. In fine considerando le altre categorie troviamo, nonostante siano legate alla morfologia e agli indicatori urbani, una curva degli indici di comfort differente l'una dall'altra influenzata dai fattori scatenanti delle UHI che nello specifico per le Zone 1 e 3 sono legati alla BD e al contrario per le Zone 2 e 6 sono legati a valori più alti di BCR e molto più bassi della BD che mi ha portato a determinare come. in entrambe queste zone rappresentano i fattori scatenanti per cui la crescita dello stress termico è legato alla temperatura dell'aria e per cui se si va ad osservare il contesto ove è stato svolto il calcolo si riscontra come sia PET che UTCI non presentano intervalli per cui questi valori si siano abbassati o alzati rispetto all'andamento generale continuo di queste zone, e quindi in relazione all'esposizione alle diverse radiazioni solari ha portato durante le diverse fasce orari ad un incremento continuo dello stress termico che influisce sull'attività umana, l'esempio più chiaro tra queste due zone è la 6; infatti, in relazione ai materiali presenti, come asfalto invecchiato e cemento, ha portato ad avere livelli di stress termico particolarmente elevati che ha determinato valori di PET massimi di tipo estremo sopra i 46°C ma al contrario valori della UTCI molto più bassi semplicemente disagio da caldo forte.

Al contrario per quanto riguarda le Zone legate la presenza di canyon urbane presenta valori relativamente altalenanti e di difficile comprensione nello specifico maggiori sono i valori della UHI legati a valori molto alti di LST e BD più porta ad avere valori discontinui per quanto riguarda l'UTCI e al contrario un po' più lineari quella del PET infatti risulta questo aspetto più evidente se osserviamo la Zona 1 dove la densità urbana è più elevata rispetto la 3 e risulta più chiara ed evidente la presenza di canyon urbani, inoltre una criticità che si riscontra in queste zone è come l'andamento del PET porta ad un maggiore incremento dello stress termico da valori miti di 29°C all'aumento di quelli caldi di 35°C maggiormente durante le ore fresche e la stessa cosa vale per l'UTCI, questo aspetto è legato ai canyon urbani e quindi a livello superficiali valori molto bassi di esposizione che ha portato ad avere risultati principalmente legati alle temperature più fresche, d'altro canto la prevalenza di materiali con valori di emissività e albedo molto alti hanno portato, come si vede dai grafici giornalieri di entrambi gli indici di intensità, ad avere valori di stress termico prevalentemente individuati come. stress termico da caldo per il PET e disagio dal caldo moderato per quanto riguarda l'UTCI.

#### 9.4 Quantificazione intensità UHI

Quello che ne risulta dalle analisi svolte fino ad ora, incentrate sulle UHI relazionate a tutta la città di Torino prima e le diverse zone studio poi riscontra come, in conformità alle diverse analisi e agli indicatori e fattori che sono stati calcolati fino ad ora, che nel tessuto urbano presenta valori più significativi della UHI rispetto alle aree suburbane, e risulta scontato questo aspetto in conformità a quanto detto fino ad ora, ma d'altronde quello che si può affermare al riguardo è come quanto sviluppato fino ad ora mi ha portato ad individuare una quantificazione mirata inerente le Isole di calore e per cui ho ritenuto più valida come metodologia da considerare gli studi svolti ponendo uno zoom in aree specifiche che mi ha permesso di individuare i diversi aspetti di questi tessuti morfologici; questa parte di studio permette quindi di quantificare in maniera più dettagliata i valori della UHI e quindi dare un valore dettagliato e puntuale di questo indice; nello specifico all'interno di queste analisi puntuali quella che si è rivelata più efficace e precisa nel quantificare le UHI, rispetto agli altri indici, è il calcolo del UTFVI infatti da quello che ho ottenuto durante questi calcoli permette di individuare in maniera dettagliata quale siano i valori della UHI in maniera più dettagliata anche in relazione del fatto di come questo calcolo sia basato sui punti di interesse e maggiore è il numero di punti di interesse più dettagliato sarà quindi la valutazione di intensità delle UHI; infatti questo posizionamento dei punti di interesse che individuano dei valori specifici della LST vengono rapportati a quelli medi e quindi mi ha permesso di ottenere dei valori dettagliati della UHI in conformità ai limiti della LST media delle aree interessate

Dunque, i valori ottenuti della UTFVI si riscontra che in relazione all'andamento della LST nelle diverse zone permette di individuare quali siano le zone per cui la LST ha portato ad un incremento significativo della temperatura superficiale e che quindi ha determinato un incremento delle UHI, infatti se osserviamo le cartografie risulta relativamente critico l'aspetto per cui l'andamento delle LST ad avere una colorazione rosso scuro e quindi tendenzialmente sopra i 34°C è riconoscibile in zone ove sono individuati livelli di densità urbana particolarmente elevata; infatti se dobbiamo considerare dei fenomeni per cui questo calcolo della UTFVI porti ad avere valori particolarmente significativi per cui le UHI è critica va confrontata in relazione ad altri fattori oltre la LST come gli indici urbani che

confrontati già in precedenza hanno dimostrato la loro relazione con l'incremento o meno della temperatura e di conseguenza del fenomeno delle UHI.

Infatti possiamo notare come il fenomeno delle UHI in queste zone, relazionate ai punti di interesse, delinea come i valori delle UHI sono influenzati da indici urbani particolarmente elevati e dunque troviamo le Zone 1, 2, 3 e 6 ove il carattere per cui si riscontrano vaste aree con isole di calore, che per gli standard del UTFVI vanno da forte a molto forte, sono influenzati dai valori di indici urbani come l'H/W, la BD, la BCR e l'H/H; al contrario le altre due zone prese in esame, in relazione ai risultati ottenuti dell'UTFVI, hanno dimostrato come le isole di calore sono influenzate principalmente dalle LST e dall'orientamento ed esposizione delle superfici presenti infatti se si tiene conto dei risultati ottenuti del MOS le zone due sono quelle che risultano più esposte a est-ovest con valori tra i 1,1 e 1,3 e rappresentano le due aree per cui presentano queste caratteristiche e per cui risulta ovvio che il fenomeno delle UHI sia maggiormente influenzato da questo aspetto infatti si riscontra una variazione nettamente inferiore rispetto alle altre 4 zone ove gli aspetti peculiari per cui sono influenzati sono di tipo urbano legato alla densità e alla copertura, presentano un incremento dei valori delle UHI per cui nettamente superiore e quindi posso valutare come. l'influenza caratterizzata da un'alta densità edificatoria porta proporzionalmente valori negativi maggiori della LST e quindi valori più forti delle UHI.

A conferma di ciò se prendiamo la zona con valori di densità e copertura più alta, ovvero la Zona 1 si riscontra come. il valore di intensità delle UHI ha subito un incremento dei valori della UTFVI di 0,010 passando da valori mediamente bassi o normali a fenomeni delle UHI molto elevati, al contrario le zone ove sono influenzate dall'orientamento degli edifici e dalla loro esposizione hanno dimostrato come i valori delle UTFVI non hanno subito una grande variazione anzi in alcuni frangenti ha portato anche ad un lieve abbassamento di questo indice ma comunque rimanendo tra i +/-0,006.

Valori UHI				
UHI influenzate dai canyon urbani				
Zone	LST	BD	BCR	Variazione UTFVI 2021/2022
Zona 1	36,75	12,85	0,76	+0,009
Zona 3	37,25	7,89	0,51	+0,015
UHI influenzate da spiazzi cementati ed esposizione				
Zona 2	37,05	5,72	0,5	-0,010
Zona 6	38,59	8,16	0,54	-0,008
UHI influenzate da esposizione e orientamento				
Zona 4	36,41	3,53	0,43	+0,005
Zona 5	36,59	5,16	0,54	+0,002

Infatti a dimostrazione di ciò questa tabella evidenzia come in relazione all' incremento dei valori di densità in conformità ad un determinato orientamento ha portato non solo a valori significativi delle UTFVI ma inoltre a influenzare sulla crescita di questo fenomeno tra il 2021 ed il 2022 e dimostra in maniera particolarmente negativa come in relazione a determinati parametri di densità e quindi un'area coperta da edifici ha portato ad un incremento maggiore, rispetto ad aree come la Zona 2 e 6 ove la densità è relativamente inferiore e quindi in relazione ai punti di interesse posizionati in zone, ove la densità è relativamente inferiore, ha comportato una riduzione dei valori della UHI anziché aumentare, nonostante questi valori di base nel periodo di riferimento del 2021 siano relativamente alti.

Al contrario si nota come i valori delle UHI in relazione ai valori ottenuti dal MOS e di conseguenza aree ove l'esposizione est-ovest sia molto più influente rispetto alla densità ha portato sì a un incremento di questo fenomeno ma di portata relativamente inferiore a zone ove l'esposizione sia differente, nello specifico le Zone 1,2,3,6 è sud-ovest, per cui come abbiamo detto densità e copertura elevata superiore a 0,5 e 8,0 avrà sempre un incremento delle UHI annuo di +0,010; questo aspetto di conseguenza ha portato ad un incremento significativo anche per quanto riguarda altri fattori come la temperatura media radiante e lo stress generato da comfort termico

infatti questo aspetto come. abbiamo visto influisce in maniera proporzionale a quanto è stata quantificato il valore delle UHI, infatti in relazione ai fattori che influiscono su di esso si nota come la relazione con il confort termico sia per il PET che per l'UTCI presentano valori di stress termico ridotti in relazione alla minore densità edilizia e da ciò si nota come i valori molto bassi di UHI legati alla LST e alla temperatura media radiante è legata a queste aree bassa densità edilizia ove al posto di fabbricati edilizi sono stati sostituiti da aree verdi o parchi; infatti questo aspetto in relazione a quanto detto inerente alle UHI individua quei pixel di LST e Tmrt relativamente più bassi e per cui hanno mitigato questo fenomeno e per cui ho ritenuto una soluzione potenziale per mitigare questo fenomeno e di conseguenza migliorare le aree queste zone critiche.



## 10 ANALISI PER MITIGARE IL FENOMENO DELLE UHI

### 10.1 Tipologie e strategie per la mitigazione delle UHI

In relazione a quanto ho analizzato fino ad adesso inerente al fenomeno delle UHI abbiamo riscontrato come per ciascuna area presa in esame, anche in relazione ai risultati ottenuti per ogni variante si è riscontrato vi siano valori influenzati da fattori specifici inerente l'intensità della UHI, inoltre in relazione ai due periodi di riferimento del 2021 e 2022 le UHI hanno subito dei cambiamenti drammatici e come abbiamo visto fin ora in relazione al loro tessuto urbano la loro intensità si è rivelato considerevolmente sempre più elevata; per questo in questa ultima parte della mia tesi sono state. Considerate delle possibili soluzioni per la quale fosse possibili mitigare questo fenomeno e ridurre le UHI in maniera tale che la qualità del comfort e dell'aria venissero normalizzate.

Tra le soluzioni più frequenti troviamo l'inserimento delle aree verdi, infatti spazi destinati a verde possono determinare effetti benefici sull'ecosistema urbano, sulla qualità dell'aria e sulle condizioni sanitarie generali delle città; la vegetazione, infatti, svolge delle funzioni atte a migliorare la qualità dell'ambiente tra cui il controllo dei fattori dell'inquinamento dell'aria, fungendo da elemento filtrante per polveri e gas e costituendo passivamente un prezioso rilevatore della loro presenza.

Un primo effetto di "depurazione" è riferibile alla riduzione dei movimenti di aria che favorisce la caduta delle particelle sospese sul terreno; un secondo effetto è riconducibile alla immobilizzazione più o meno prolungata da parte delle piante, con meccanismi chimici o fisici, di alcuni metalli pesanti o di altri inquinanti atmosferici.

Secondo la Fao, che già nel 2018 ha lanciato l'iniziativa *Trees for cities*, gli alberi in città, se posizionati correttamente intorno agli edifici, possono ridurre il fabbisogno di aria condizionata del 30 per cento circa nei climi più freddi, invece, gli alberi potrebbero essere impiegati per proteggere le case dal vento e consentire di risparmiare l'energia utilizzata del 20-50 per cento, senza scordare che un singolo albero maturo può assorbire fino a 150 chili di CO<sub>2</sub> all'anno e quindi contribuire a mitigare il fenomeno delle Isole di Calore Urbane.



*Fig. 15 High line di New York, esempio di verde urbano*

Un'altra metodologia utilizzata per mitigare questo fenomeno anche in relazione all'influenza che le pavimentazioni scure hanno sul fenomeno delle isole di calore è quello di prendere in esame Anche le pavimentazioni, in cemento o in asfalto, peggiorano l'effetto isola di calore, basti pensare alle grandi superfici occupate da strade e parcheggi.

Anche qui la scelta di materiali può contribuire a realizzare pavimentazioni con colorazioni chiare e alto indice di riflettanza che mantengono una temperatura inferiore, esistono bitumi, pitture e aggregati che hanno queste caratteristiche nel caso dei parcheggi, inoltre, è possibile optare per soluzioni di verde armato e pavimentazioni drenanti.

E' importante che le pavimentazioni siano ad alta riflettanza, realizzate con materiali naturali, permeabili e con proprietà di riflessione solare, un valore alto SRI (Solar Reflectance Index) limita l'accumulo di calore e dunque il surriscaldamento cittadino.

Un altro aspetto che, come abbiamo già visto in precedenza, può presentare la possibilità di verificarsi di fenomeni di UHI sono le coperture degli edifici che vista la loro totale esposizione alle radiazioni solari comparta rilasci successivi da parte dei materiali di calore, infatti suddetto aspetto riguarda le tipologie composte da materiali scuri, per questo possono essere strutturate diverse soluzioni tra cui In alternativa si possono realizzare i "Cool Roof", tetti freddi grazie al rivestimento delle superfici di copertura con materiali riflettenti.

I tetti freddi sono in grado di riflettere fino all'80% della radiazione solare e si realizzano con l'applicazione di materiali chiari con un basso fattore di assorbimento solare e un'elevata emissività; un'altra soluzione possono essere le coperture verdi che per quanto presenti

caratteristiche analoghe ai tetti verdi essendo entrambe delle strategie importanti per mitigare gli effetti dell'isola di calore, d'altro canto i tetti verdi sono pensati per interessi dei costi del ciclo di vita, i benefici pubblici e gli impatti ambientali più ampi.

Un tetto verde, o giardino pensile, è uno strato vegetativo cresciuto su un tetto. I tetti verdi forniscono ombra, rimuovono il calore dall'aria e riducono le temperature della superficie del tetto e dell'aria circostante l'utilizzo di tetti verdi nelle città o in altri ambienti edificati con vegetazione limitata può moderare l'effetto isola di calore, in particolare durante il giorno. Le temperature dei tetti verdi possono essere inferiori di 5-6°C rispetto a quelle dei tetti convenzionali e possono ridurre le temperature ambientali in tutta la città di 3°C ; i tetti verdi possono ridurre il consumo energetico dell'edificio dello 0,7% rispetto ai tetti convenzionali, piante assorbono la luce solare, il 50% viene assorbito e il 30% riflesso; quindi questo contribuisce a creare un clima più fresco e piacevole. Per il clima interno ciò significa che l'aria condizionata non deve lavorare così duramente, il che a sua volta significa risparmio energetico. E anche questo ha un ulteriore effetto positivo sul clima nelle immediate vicinanze del vostro edificio e sulla temperatura in città



*Fig. 16 Differenza tra coperture verdi e coperture tradizionali*

Inoltre, rispetto alle coperture chiare quelle verdi portano anche altri vantaggi, tra cui assorbe l'acqua piovana grazie all'accumulo idrico nelle piante, nel substrato e nello strato drenante. Ciò ritarda lo scarico dell'acqua piovana nella rete fognaria, purifica l'acqua piovana e l'acqua evapora

anche attraverso le piante. Tutto ciò aiuta a stabilizzare il livello delle acque sotterranee, riduce il carico di punta sul sistema fognario e riduce il rischio di inondazioni; non solo restituiscono spazi utili alla socialità, ma contribuiscono al controllo microclimatico urbano, favoriscono l'evaporizzazione, l'assorbimento di agenti inquinanti e la riduzione di polveri sottili.

Da queste tipologie analizzate anche. In relazione alle possibilità fornite dal software Quantum GIS e Umap SOLWEIG è possibile integrare una variazione al tessuto urbano applicando solo alcune di queste soluzioni nello specifico si tratta delle coperture verdi e suolo verde, andando singolarmente a inserirle in quelle determinate zone ove vi sono caratteristiche per la quale è possibile integrare queste strategie e anche dove i valori delle UHI risultano considerevolmente alte, per questo è stato svolto uno studio sia per le coperture che per le pavimentazioni del suolo per individuare delle aree. Intervenire.

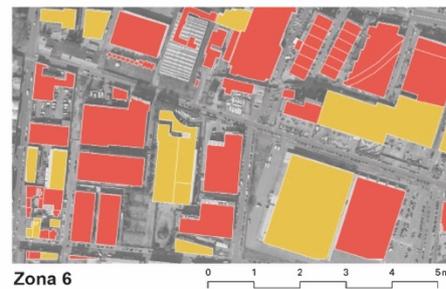
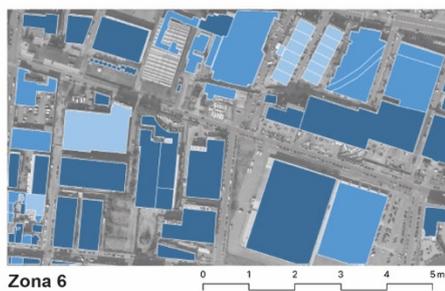
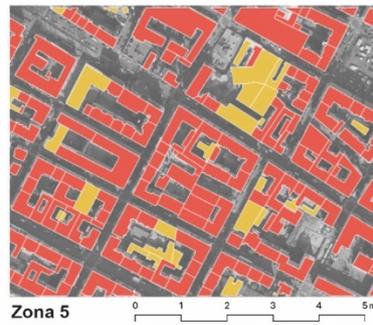
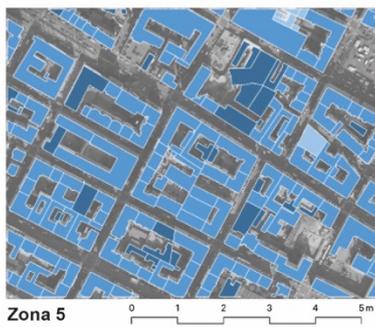
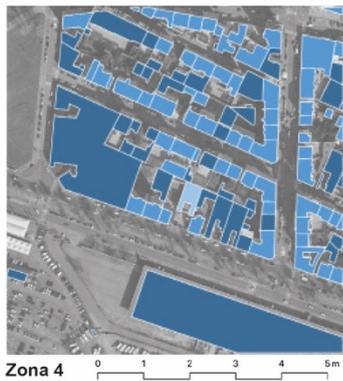
## **10.2 Approfondimento delle coperture e del suolo dei casi studio**

In relazione a quanto detto in precedenza infatti si è scelto di intervenire integrando delle coperture e delle soluzioni a livello del suolo per la quale potessero essere integrate delle soluzioni verdi ed addirittura piantando o integrando nelle aree già presenti degli alberi, d'altro canto suddetti interventi non possono essere integrati ovunque per questo è necessario approfondire e conoscere molto bene le caratteristiche dell'edificio e nello specifico la tipologia della copertura che è presente in suddetta area; anche perché in relazione alla volontà di integrare coperture in determinati edifici non tutte le tipologie di tetti sono predisposte a questa tipologia di soluzione, infatti ho voluto valutare per ciascun edificio una classificazione dei tetti e di conseguenza determinare quali fossero predisposti all'inserimento di una copertura verde o vegetale.

Per questo è stato necessario svolgere una classificazione puntuale delle singole coperture, una ad una, ed individuare quali sono le tipologie delle diverse coperture ed in relazione ad esse se possono essere compatibili o no per l'inserimento di una copertura verde; nello specifico sono state individuate tre tipologie di coperture ovvero: coperture piane, a falde e a volta, di questi tre quelli più propensi all'inserimento di vegetazione sono appunto i tetti piani le altre categorie prese in esame rientrano nelle categorie dei tetti ove non è possibile integrare questa tipologia di strategia, inoltre è importante individuare quei tetti piani ove sia veramente utile e necessario inserire coperture verdi anche in relazione alle zone ove le condizioni climatiche sono predisposte al fenomeno delle isole di calore urbane e quindi pensare in maniera coerente e puntuale dove

inserire questa tipologia di soluzione nelle coperture piane per quindi verificare se suddetto fenomeno ha portato a una riduzione di intensità oppure no in relazione alle modifiche. Apposte al tessuto urbano.

### Classificazione delle coperture dei casi studio



#### Legenda

##### Tipologia di copertura

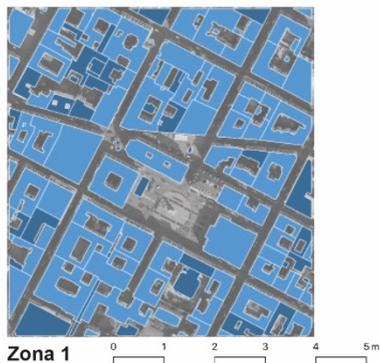
- Coperture volta
- Coperture piane
- Coperture a falde

##### Potenzialità

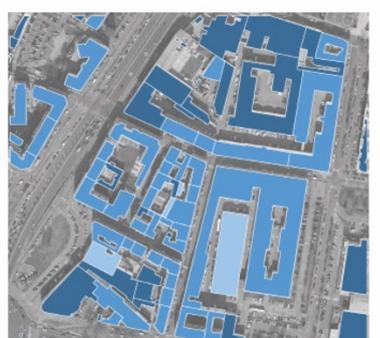
- Coperture verdi non realizzabili
- Potenziale copertura verde
- Coperture verdi esistenti

## Classificazione delle coperture dei casi studio

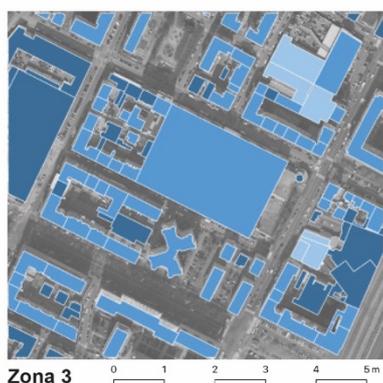
### Tipologie di coperture



Zona 1

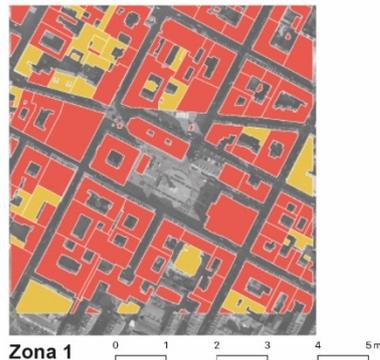


Zona 2

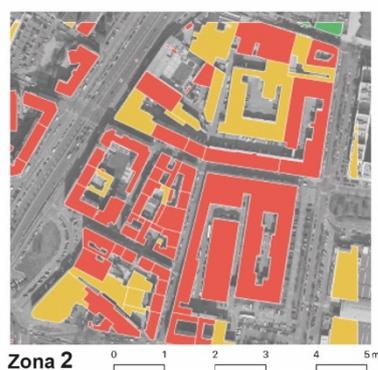


Zona 3

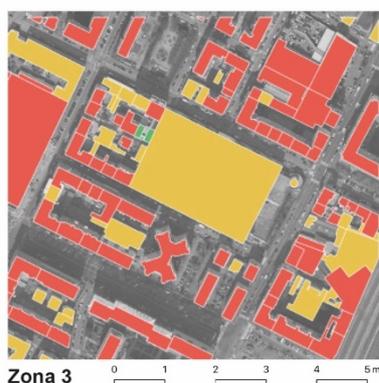
### Potenzialità coperture



Zona 1



Zona 2



Zona 3

### Legenda

#### Tipologia di copertura

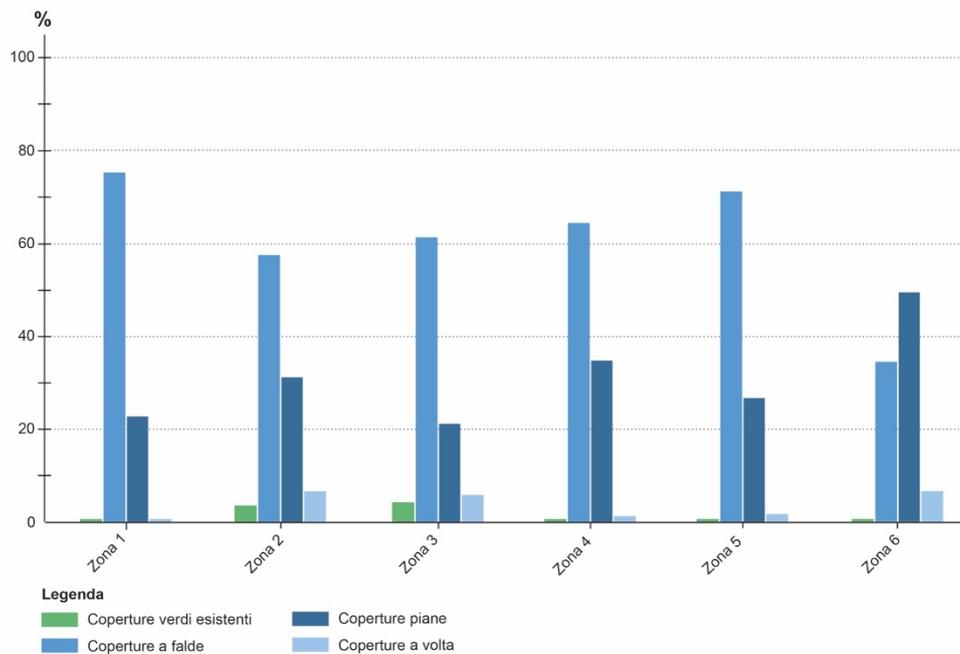
- Coperture volta
- Coperture piane
- Coperture a falde

#### Potenzialità

- Coperture verdi non realizzabili
- Potenziale copertura verde
- Coperture verdi esistenti

Dalle immagini è evidente come vi sia una grande diversità per quanto riguarda le coperture, infatti, in conformità alle diverse zone prese in esame troviamo percentuali maggiori o inferiori per quanto riguarda le tipologie di coperture si riscontra però come le percentuali maggiori riguardano le coperture a spioventi che identificano i palazzi storici o le vecchie palazzine storiche infatti troviamo come questa tipologia di copertura rappresenta un elemento tipico della città piemontese, inoltre si nota come in alcune zone vi sono, in valori molto minimi, ci sono edifici ove è già stato applicato una. Copertura verde; da queste considerazioni si delinea come per approfondire questa classificazione è stato svolto uno studio inerente questa classificazione andando a valutare in percentuale quante sono le coperture di un tipo rispetto un altro.

**Grafico dei valori percentuali delle diverse tipologie di copertura**



Infatti, da questo grafico è ancora più chiaro quale sono le tipologie di coperture ove sono più presente per ogni singola zona presa come caso studio, infatti si nota come le coperture a falde sono evidenti in cinque zone su sei anche perché rappresentano, come già detto, lo standard tipico delle coperture degli edifici, inoltre gran parte di questi fabbricati presentano nei diversi casi

studio tipologie o di tipo storico o risalenti al XX secolo e quindi giustifica in maniera più evidente come siano stati usate coperture a falde in quegli anni.

Unica eccezione riguarda la Zona 6 che essendo una zona industriale presenta le caratteristiche tipiche delle coperture dei fabbricati industriali e dei capannoni e dunque vi è una prevalenza di coperture con tetti curvi ma per la maggioranza di coperture piane; infatti, se osserviamo questa zona nello specifico troviamo che si identifica come l'unica Zona dove triamo la prevalenza in percentuale di coperture piane rispetto alle altre tipologie; infatti se andiamo a guardare i valori delle altre coperture troviamo come in generale, per quanto rappresentino un valore considerevolmente alto, se andiamo a confrontarli con i valori percentuali, le altre zone mantengono sempre una. Maggioranza per quanto riguarda le coperture. A spioventi, questo carattere sarà utile. Per individuare quali siano le coperture. Ove intervenire per integrare delle superfici verdi o vegetali.

**Tabella con i valori percentuali delle tipologie di copertura**

Area	Tipologie di coperture	N. edifici	% degli edifici	Area della copertura(mq)	% area della copertura
Area 1	Coperture verdi esistenti	0	0%	0	0%
	potenziale tetto a spiovente	78	76,5	69198,6	58,2
	potenziale tetto piano	24	23,5	15696,6	13,2
	Coperture curve	0	0%	0	0%
	Tetto non verde	102	100	84895,2	100
Area2	Coperture verdi esistenti	2	2,9	6919,2	4,9
	potenziale tetto a spiovente	41	58,6	32946,2	23,5
	potenziale tetto piano	23	32,9	27076,3	19,3
	Coperture curve	4	5,7	3559,6	2,5
	Tetto non verde	68	97,1	63582,1	45,4
Area3	Coperture verdi esistenti	3	3,1	187,2	0,1
	potenziale tetto a spiovente	60	61,9	36744,4	26,2
	potenziale tetto piano	30	30,9	17335,7	12,3
	Coperture curve	4	4,1	3809	2,7
	Tetto non verde	94	96,9	57889,1	41,2
Area4	Coperture verdi esistenti	0	0%	0	0,0
	potenziale tetto a spiovente	68	64,2	14427	16,0
	potenziale tetto piano	37	34,9	24304,9	27,0
	Coperture curve	1	0,9	327,5	0,4
	Tetto non verde	106	100	39059,4	43,4
Area5	Coperture verdi esistenti	0	0%	0	0,0
	potenziale tetto a spiovente	149	72,0	61988,1	44,7
	potenziale tetto piano	56	27,1	12045,1	8,7
	Coperture curve	2	1	1401	1,0
	Tetto non verde	207	100	75434,2	54,4
Area6	Coperture verdi esistenti	0	0%	0	0,0
	potenziale tetto a spiovente	21	33,9	33645,9	17,9
	potenziale tetto piano	37	59,7	56656	30,1
	Coperture curve	4	6,5	8478,4	4,5
	Tetto non verde	62	100	98780,3	52,5

D'altro canto, un'altra considerazione. che si pone per quanto riguarda la scelta delle coperture su cui intervenire è inerente al fatto che le strategie inerenti i tetti verdi devono essere prese in concomitanza con le zone ove verranno applicate aree verdi o parchi o addirittura quelle zone già verdi ove vengono integrati degli ulteriori alberi per migliorare le performance di mitigazione di suddette aree vegetali; questa scelta è stata fatta anche in relazione a poter svolgere un

confronto successivo per vedere se confrontando i valori della Tmrt e degli indici di comfort termico sono migliorati sotto l'influenza delle nuove strategie rispetto a quelli degli standard dei periodi di riferimento del 2021 e 2022, inoltre in relazione di ciò è rilevante capire oltre a quale soluzione sia più favorevole alla mitigazione delle UHI ma anche comprendere quale sia lo standard minima di verde che possa portare valori positivi da questo studio e di conseguenza mi ha portato a considerare di integrare entrambe le soluzioni ove solo una non ha portato nessun risultato positivi o addirittura ha mantenuto invariate i valori dell'are.

Per questo per capire meglio quale sia la strategia migliore per ciascuna zona e ove fosse più favorevole integrare queste due tipologie di strategie è stato utile calcolare una serie di fattori caratteristici per ogni singola zona caso studio, anche per capire se per ciascuna zona vi fossero delle strategie specifiche considerabili più favorevoli rispetto ad altri per mitigare il fenomeno delle isole di calore urbano; questo calcolo che è già stato svolto in precedenza riguarda gli indici di comfort termico PET e UTCI in relazione alla Tmrt, inoltre suddetto calcolo in relazione alle strategie che verranno applicate tiene conto del periodo di riferimento più recente ovvero quello del 01/08/2022.

### **10.3 Incremento e miglioramento delle aree verdi**

Dunque, come detto in precedenza oltre alle coperture verdi sono state integrate delle strategie per le zone verdi o comunque sono state prese in esame degli interventi per la quale si è voluto migliorare il livello di comfort urbano a livello del suolo tramite il potenziamento o inserimento di aree verdi, questa considerazione è stata presa tenendo conto di dei risultati ottenuti in precedenza dal calcolo della Tmrt dei singoli casi studio nei periodi di riferimento del 2021 e 2022; è chiaro però che. Questo calcolo va fatto tenendo conto che questo inserimento di aree verdi per mitigare il fenomeno delle UHI non può essere applicato ovunque, è chiaro che le zone ove è più necessario integrare delle zone verdi sono vaste aree cementate per cui l'intervento è drasticamente necessario integrando anche alberi per migliorare le condizioni climatiche presenti, ma non solo anche le piazze, viste le caratteristiche dei materiali che li compongono (porfido e pietra), nello specifico nelle Zone 1 e 5, rappresentano un evidente criticità che comporta l'incremento delle temperature di albedo e di conseguenza l'incremento delle UHI.

Inoltre, ho tenuto conto anche di quelle zone per la quale l'intervento di strategie di aree verdi funge anche come una forma di potenziamento per quei parchi o spiazzi verdi che a causa della presenza di aree cementate o di un contesto urbano per la quale l'edificato impedisce di abbassare i valori della temperatura o addirittura il verde non presenta valori sufficienti per

mitigare la temperatura nell'area circostante; per questo un ruolo importante è svolto dagli alberi all'interno di vaste aree verdi e in conformità di queste caratteristiche ho riscontrato la possibilità di integrare ulteriori alberi per migliorare questi ambienti

### Intervento aggiunta e miglioramento aree verdi

Zona 1

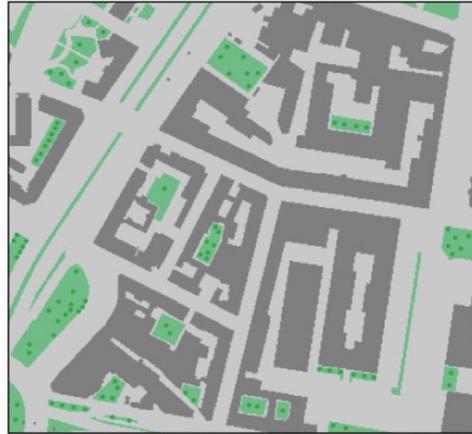


**Legenda**  
■ Edificato  
■ Suolo  
■ Aree verdi  
● Alberate

0 1 2 3 4 5m



Zona 2

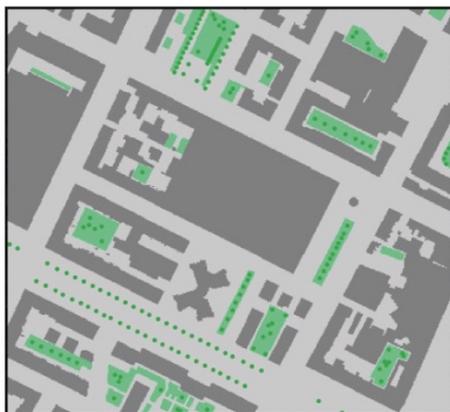


**Legenda**  
■ Edificato  
■ Suolo  
■ Aree verdi  
● Alberate

0 1 2 3 4 5m



Zona 3



**Legenda**  
■ Edificato  
■ Suolo  
■ Aree verdi  
● Alberate

0 1 2 3 4 5m



Zona 4



**Legenda**  
■ Edificato  
■ Suolo  
■ Aree verdi  
● Alberate

0 1 2 3 4 5m



### Intervento aggiunta e miglioramento aree verdi

Zona 5

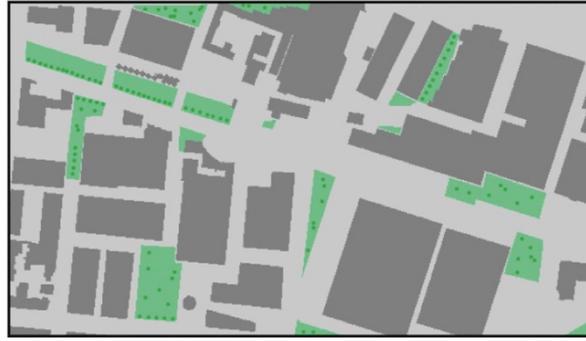


Legenda

- Edificato
- Suolo
- Aree verdi
- Alberate



Zona 6



Legenda

- Edificato
- Suolo
- Aree verdi
- Alberate



La selezione delle zone ove integrare le strategie delle aree verdi è stata possibile anche in relazione allo studio svolto in precedenza riguardante la Tmrt, tramite il software Umep SOLWEIG, e quindi grazie alle diverse colorazioni delle cartografie che identificano l'intensità della Tmrt ha permesso di facilitare questo compito, però, un aspetto che va considerato per quanto riguarda l'integrazione delle aree verdi è che oltretutto non tutte le zone necessitano di questa tipologia. Di aggiunta per migliorare la qualità dell'aria e del stress termico per poter inserire ed aggiungere questi spiazzi vegetali ho stato considerato anche le norme ed i vincoli urbani che sono presenti nel territorio e quindi andando ad integrare il verde solo ove possibile rispettando la viabilità e gli accessi privati, parcheggi e piazzole, tenendo comunque presente come. suddette strategie sono state applicate ove ho ritenuto di intervenire perché presenti valori significativi delle UHI; In relazione quindi agli aspetti precedentemente descritti è chiaro che. Queste due. Tipologie di intervento son la conseguenza degli studi svolti fino ad adesso e che mi hanno portato a definire come non tutte le zone prese in esame per questo studio sono compatibili con questo genere di studio, infatti, in relazione alle caratteristiche morfologiche delle diverse zone è possibile che una soluzione possa essere meno efficace di un'altra o comunque in conformità di ciò in relazione alle diverse zone gli interventi possono essere minori rispetto ad altre aree in conformità delle caratteristiche presenti

Dunque in conformità a quanto detto troviamo le Zone 1,3,5 ove sono stati considerati degli interventi minori e mirati in determinate zone, anche in relazione alle limitate possibilità di azione e spazio e le zone 2,4 e 6 ove è stato possibile svolgere macro interventi; quindi, in queste casistiche ho valutato di andare in maniera puntuale di aggiungere alberi ove in determinate aree

verdi non vi fosse una risposta termo fisiologica da parte di questi ultimi o andando a ricercare quelle aree e spiazzi di media dimensione che potessero presentare determinati valori per la quale integrare are verdi fosse funzionale alla mitigazione delle UHI e del stress termico.

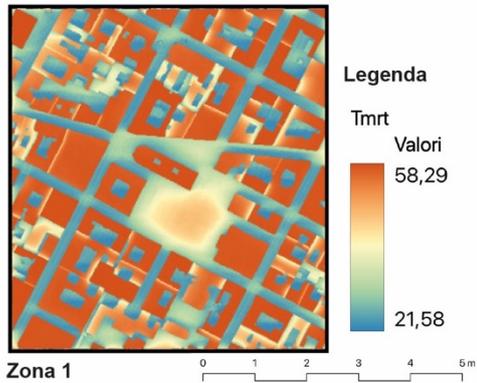
#### **10.4 Risultati delle strategie verdi sui casi studio**

Dunque, in relazione alle considerazioni inerenti ai dati analizzati per essere poi integrati all'interno del software Umap SOLWEIG per poi quindi ottenere dei risultati per la quale anche grazie a Quantum GIS permette di avere dei risultati che mi permettano di giustificare le strategie per la quale ho voluto utilizzarle.

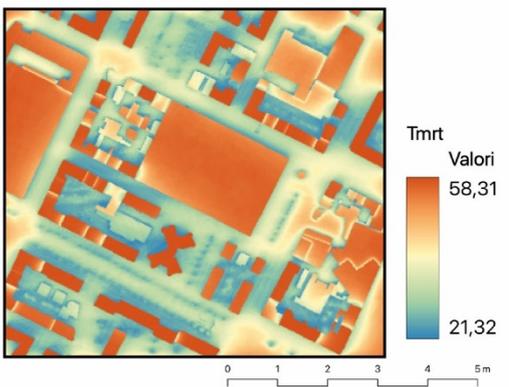
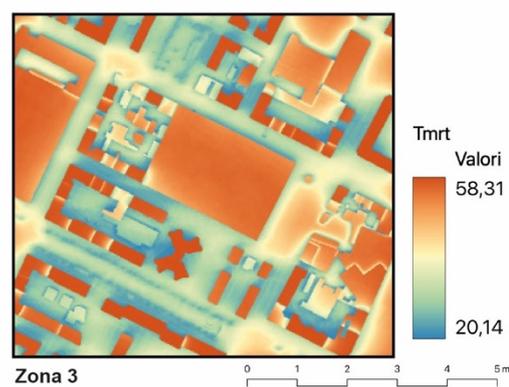
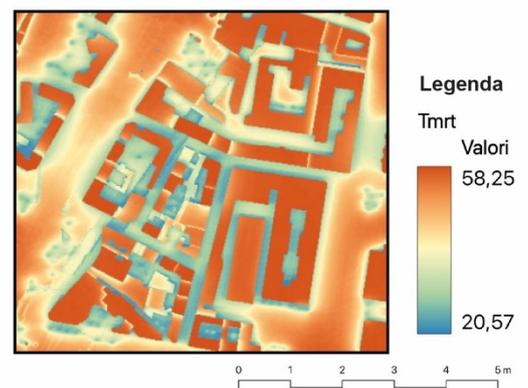
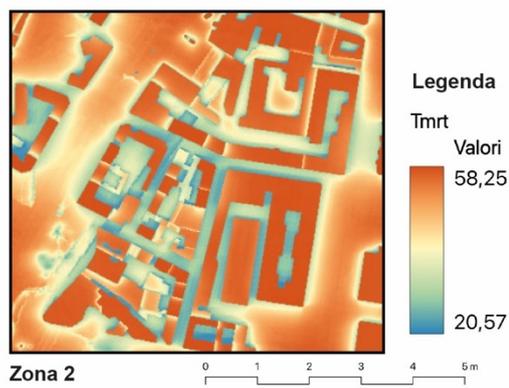
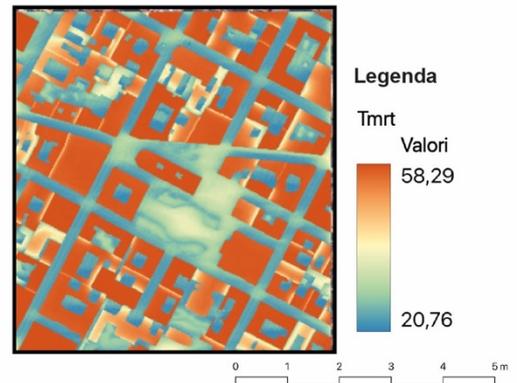
Inoltre, per avere una coerenza rispetto ai casi studio presi in precedenza per il calcolo della Tmrt è stata usata una base di colori della leggenda identica anche per favorire un confronto coerente e lineare con le altre cartografie delle zone caso studio dei periodi di riferimento del 14/08/2021 e del 01/08/2022; oltre a questa considerazione che vedremo nei prossimi capitoli dal calcolo della Tmrt delle singole zone caso studio permette oltre di ottenere dei risultati per il calcolo di PET e UTCI che vedremo successivamente nei prossimi capitoli conclusivi.

Di seguito ho riportato i risultati cartografici delle strategie verdi applicate alle singole zone caso studio; infatti, per ciascuna zona sono state accostate le due diverse strategie per poter visualizzare in maniera immediata le differenze che si presentano nel tessuto urbano; inoltre, per svolgere questo intervento ho ritenuto non necessario prendere in esame entrambi i due periodi di riferimento anche in conformità del fatto che fosse più utile prendere in esame il periodo più recente anche in conformità di possibili previsioni di miglioramento climatico negli anni successivi, dunque il calcolo delle strategie per la mitigazione delle UHI è ricaduto sul periodo di riferimento 01/08/2022.

### Tmrt - Simulazione inserimento tetti verdi

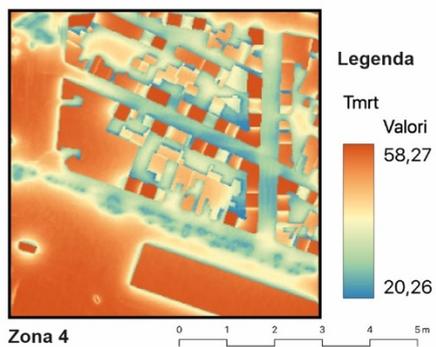


### Tmrt - Simulazione inserimento zone verde

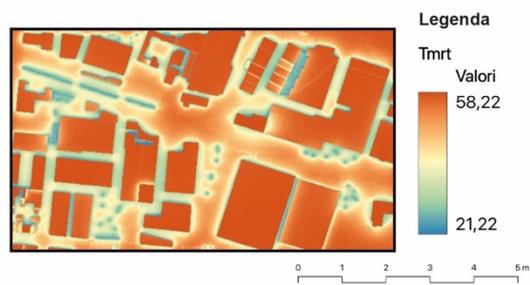
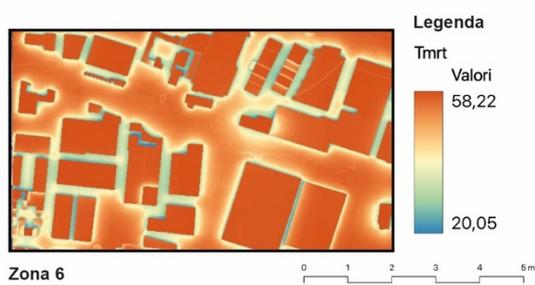
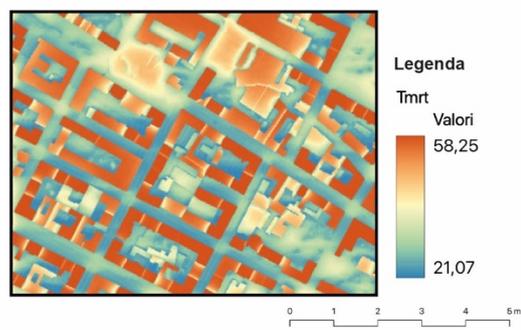
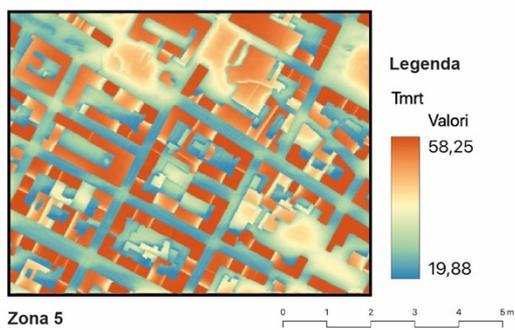
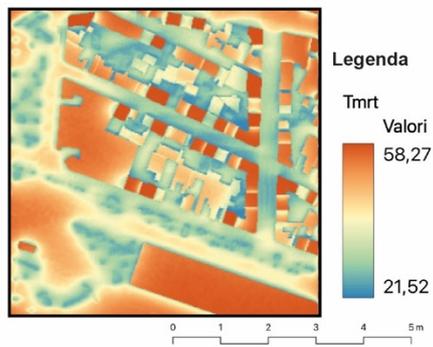


Risultato del calcolo delle Strategie Verdi

### Tmrt - Simulazione inserimento tetti verdi



### Tmrt - Simulazione inserimento zone verde



Quello che si nota dai risultati è come, indifferentemente dalle caratteristiche morfologiche, indici urbani e orientamento, non si è verificato un abbassamento valori massimi della  $T_{mrt}$  ma al contrario quello dei valori più bassi, infatti, per la gran parte delle zone che hanno subito un abbassamento dei valori risulta di almeno  $-1^{\circ}\text{C}$  della temperatura media radiante, per questo si nota che le azioni e strategie di mitigazione hanno portato le zone caso studio a subire un miglioramento del clima nelle zone. In ombra o comunque ove vi è presente una schermatura che permette di avere aree più fresche rispetto a quelle esposte al sole e dunque presentandosi con valori tra i  $20,5^{\circ}\text{C}$  e  $21^{\circ}\text{C}$  identificate nei pixel di colore azzurro; d'altro canto, l'aspetto che ha maggiormente rappresentato una criticità sono le aree dove sono state applicate coperture verdi; infatti, dalle diverse cartografie non si notano grandi differenze, a livello di risultati graficizzati, ma se andiamo nel dettaglio a guardare i valori delle leggende troviamo come molti interventi di coperture verde hanno portato un incremento di mitigazione delle aree urbane e risultano maggiori o uguali a quelli dove sono state sostituite le aree pavimentate da del verde urbano

Per questo se andiamo a guardare nel dettaglio gli interventi svolti possiamo notare come le zone ove le coperture verdi hanno subito un miglioramento climatico e per cui vi è stato una riduzione delle UHI sono per la gran parte delle zone e nello specifico troviamo come sono le Zone 3, 4, 5 e 6 e dimostra quindi l'inserimento di coperture verdi ha portato una mitigazione maggiore rispetto alle aree verdi, nello specifico l'area ove questa strategia mi ha portato a considerare i tetti verdi come più funzionali rispetto all'inserimento delle aree verdi sono le Zone 6 perché in relazione allo studio delle coperture ho constatato come in questa zona vi è la percentuale maggiore di coperture piane, infatti, nello specifico troviamo il 59% di questa tipologia di tetti che paragonato alle altre coperture sono più del 20% rispetto alle altre, per questo la Zona 6 è ove si può integrare il maggior numero di coperture verdi vista la compatibilità con questo genere di soluzione ; per questo se andiamo ad analizzare le differenze sostanziali di abbassamento delle temperature si nota come inizialmente i valori minimi del periodo di riferimento del 2022 sono di  $23,16^{\circ}\text{C}$  e se andiamo a vedere di quanto è stato il valore di mitigazione grazie all'inserimento di tetti verdi è di  $20,06^{\circ}$  e dunque un abbassamento di quasi  $-3^{\circ}\text{C}$ , e rappresenta un aspetto fondamentale se si considera che va ad influenzare sui materiali delle coperture e del suolo esposte per gran parte delle ore diurne alle radiazioni solari, che in questa zona rappresentano la causa fondamentale di questo fenomeno e di conseguenza vedere un abbassamento così rilevante dimostra la compatibilità di questa strategia con l'area presa in esame .

Una delle altre zone ove troviamo il valore della temperatura media radiante che ha subito un abbassamento significativo è la zona 5, infatti troviamo come. i pixel ove la  $T_{mrt}$  risulta più bassa hanno subito una riduzione sotto i  $20^{\circ}\text{C}$  nello specifico di  $19,88^{\circ}\text{C}$  per le coperture verdi e se

confrontato con il periodo di riferimento del 2022 troviamo un  $-3,26^{\circ}\text{C}$  rispetto ai  $23,14^{\circ}\text{C}$  dello "stato di fatto", a motivare questo aspetto vi è come l'area presa in esame presenti già aree mitigate vista l'azione di schermatura da parte degli edifici, che in questa zona, sono posizionati strettamente vicino l'uno con l'altro e quindi mitigando già normalmente le aree calde e creando un clima per la quale non vi sia uno stress termico elevato; per questo, oltre ad avere una mitigazione stradale, già esistente, l'integrazione di coperture verdi nei tetti permette di creare una mitigazione complessiva sia nelle strade che nelle parti più alte ed esposte dei tetti; per questo se confrontati i valori delle Coperture verdi con quelli ottenuti dall'intervento di aree verdi, per quanto ha ridotto di  $-2^{\circ}\text{C}$  a  $21,02$  incentrato nelle zone più significative come parcheggi e spiazzi aperti, ha dimostrato di essere stato un intervento non molto efficace o comunque non ottimale come quello applicato alle coperture, anche in conformità di come l'inserimento delle coperture ha svolto un ruolo fondamentale in relazione dell'orientamento est-ovest e dunque esposti quasi tutto il giorno alle radiazioni solari e quindi risulta ancora più positivo questa tipologia di intervento, al contrario un'altra nota negativa inerente alle aree verdi aggiunte nel contesto della Zona 5 è i livelli alti di densità urbana che ha portato a ridurre l'area possibile di inserimento di verde urbano e quindi svolgere interventi minimali o comunque. Puntuali.

Quest'ultimo aspetto descritto rappresenta anche l'unico pregio inerente all'integrazioni delle aree verdi rispetto alla Zona 5 visto che la mitigazione delle zone con spiazzi cementati avviene tramite interventi mirati che ha portato ad una mitigazione dei valori della Tmrt dai valori del 2022 di  $36^{\circ}\text{C}$  ai  $26^{\circ}\text{C}$  ottenuti dalla strategia ma questo aspetto è circoscritta solo alle aree di intervento senza portare nessun miglioramento climatico e di comfort nelle altre zone.

Al contrario troviamo come l'area ove l'intervento di coperture verdi non ha portato ad alcun miglioramento dei valori di mitigazione sono la Zona 1 per questo si nota che l'abbassamento è di a malapena di  $-2^{\circ}\text{C}$  passando da  $24,22^{\circ}\text{C}$  del 2022 a  $21,58^{\circ}\text{C}$ , ed è una casistica interessante perché. Se confrontata con la zona 5, molto simile, ma che rispetto alla densità era maggiormente influenzata dall'orientamento dei fabbricati al contrario nella Zona 1 si riscontra come sia legata univocamente alla densità infatti questo aspetto è quello che influisce maggiormente sulle UHI della Zona 1 e di conseguenza sulla Tmrt; per questo nonostante vi sia un'azione di mitigazione non ha portato ad alcun miglioramento climatico anche. In relazione al numero limitato di coperture piane infatti se si paragona con la strategia di integrazione di aree verdi in in questa zona ho riscontrato come ha portato risultati più positivi per la mitigazione delle UHI, anche in relazione alle caratteristiche morfologiche presenti infatti l'elemento per la quale la strategia di inserimento di aree verdi fosse la più valida è legata alla piazza in porfido e pietra presente nel centro dell'area urbana al centro della Zona 1.

Infatti l'individuazione di questa zona è stata scelta in maniera preponderante a causa di questa piazza che, già nello studio della LST influenzava i valori medi della temperatura superficiale dell'intera sezione di censimento evidenziando come l'intera area fosse visibile dall'intero inquadramento dei valori della LST di tutta la città metropolitana di Torino e dunque andando a svolgere degli studi approfonditi la causa di questi valori elevati è legata a questa piazza sono legati ai valori di BD e BCR dei materiali con cui è realizzata e la scarsa schermatura per creare zone in ombra favorisce il formarsi di UHI e stress Termici estremi; per questo l'intervento tramite inserimento di aree verdi ha portato a una vera propria mitigazione di questa area, però tenendo conto dei vincoli presenti nella piazza ovvero di una statua posizionata al centro di essa ha portato ad introdurre del verde solo attorno e senza stravolgerla troppo; inoltre in relazione ad una prima valutazione in cui è stato aggiunto solo della pavimentazione vegetale per cui non è stato sufficiente per ottenere una risposta positiva, è stato necessario integrare dei filari di alberi che in questo frangente si vede dalla cartografia è stata una risposta per la quale si è visto un abbassamento della temperatura media radiante dai 34,90°C del 2022 ai quasi 21°C ottenuti dall'inserimento di questa strategia che non ha portato un miglioramento nella piazza ma anche nelle aree limitrofe anche. In relazione ad un abbassamento di -13,9°C riducendo dunque sia l'influenza all'esposizione a radiazioni e di conseguenza riducendo il rilascio di calore da parte dei materiali delle superfici presenti

Un'altra casistica particolare riguarda la Zona 2 ove troviamo come l'intervento di entrambe le strategie ha portato risultati positivi ottenendo valori della Tmrt medi più bassi identici pari a 20,57°C rispetto ai valori medi più bassi del periodo di riferimento del 2022 di 22,68°C infatti entrambe le varianti ha portato ad abbassarsi di -2,11°C, questo miglioramento di temperature ha portato praticamente identico è legato fortemente alle caratteristiche di questa zona ove presentano aspetti morfologici urbani che sono propensi e compatibili con entrambe le strategie. Per favorire in entrambi i casi la mitigazione e il miglioramento delle temperature; infatti troviamo come in relazione alle vaste aree verdi e diversi nuclei densificati di edifici nella parte centrale della zona ha dimostrato come in entrambi i casi ha portato a migliorare i livelli delle Zone, ove possibile, più drammatiche.

In fine una casistica molto simile e per cui rappresenta la criticità più significativa riguarda la Zona 4, la zona per la quale necessitava un intervento più di tutto il resto del tessuto urbano di quest'area e nello specifico faccio riferimento alla parte sud della zona cementata dell'autorimessa ove come già detto più volte troviamo i valori più alti per la quale anche la struttura industriale nelle vicinanze va ad influire su di essa evidenziando un chiaro caso di UHI e per la quale si riscontra questa gravità in tutte le analisi fatte in precedenza e che conferma il legame con i valori di copertura molto alti e di conseguenza essendo uno spiazzo aperto valori

direttamente proporzionali di esposizione; ma tornano alle troviamo come i valori ottenuti dalle cartografie non rappresentano quelli sperati infatti nello specifico l'inserimento di vaste aree verdi alberate, nel rispetto della viabilità, doveva andare a mitigare non solo l'area interessata ma portare dei risultati di mitigazione anche nelle aree limitrofe o quanto meno andare a ridurre i valori di stress termico causato dalle UHI, invece proprio questi valori elevati generati dalle UHI che influenzano la Tmrt, di 56,15°C, infatti questo aspetto anche se in larga scala ricorda quello della Zona 5 e quindi in questa parte di zona dà l'impressione di essere un semplice intervento puntuale senza portare alcun aspetto positivo nelle zone vicine, solo nella zona a nord dell'area interessata si notano valori che grazie al potenziamento del parco presente l'edificio nelle vicinanze ha subito un abbassamento dei valori delle UHI.

Al contrario se mettiamo a confronto le due strategie si denota come la strategia in cui ha portato valori più bassi della temperatura è quella ove sono state aggiunte coperture verdi con valori minimi medi di 20,26 ma la differenza a livello visivo è che il miglioramento del primo è legato ad interventi puntuali e ristretti agli edifici e alle zone nelle medie vicinanze, al contrario l'integrazione aree verdi presenta valori leggermente più alti ma che. Risultano meno precisi e che hanno dimostrato che di essere più o meno efficaci in conformità dei valori climatici presenti e ai fattori urbani che caratterizzano le diverse zone

Inoltre per avere una considerazione più dettagliata per quanto riguarda questo parametro è stato utile andare a calcolare i valori della Tmrt andando a vedere quale sia il valore specifico di questo indice in conformità dei diversi punti di interesse già considerati in precedenza, ciò non solo mi ha permesso di vedere i valori della temperatura media radiante per zona ma anche per comprendere quale sia il valore nel tessuto urbano e dunque individuare delle aree specifiche per la quale sono presenti edifici da prendere come riferimento per andare a visualizzare quali siano gli indici di miglioramento per la quale in relazione alle strategie applicate ha portato dei benefici specifici nel complesso edilizio.

Di seguito dunque troviamo come in conformità ai differenti casi studio si delinea come questi interventi hanno portato benefici significativi per gran parte delle zone prese in esame, si riscontra infatti come la seguente tabella va a dimostrare che in relazione alla tipologia di tessuto morfologico urbano vi sia una delle due strategie che ha portato valori di mitigazione più positive rispetto all'altre e così viceversa inoltre si riscontra come su tutti e diciotto i punti di interesse solo uno ha dato dei valori negativi incrementando la Tmrt da 38°C del 2022 ai 39°C della strategia delle aree verdi al valore ancor più peggiore di 40°C dell'inserimento di coperture verdi tale aspetto è riconducibile al fatto che l'intervento non è stato sufficiente in conformità alle caratteristiche morfologiche presenti e all'alta densità edificatoria in relazione a ciò una soluzione

fattibile a portare un miglioramento di questa zona è legata all'inserimento di entrambe le soluzioni sull'unico punto di interesse

### Risultati Tmrt per i punti di interesse

Confronto valori Tmrt				
Area	Punti di interesse	Tmrt 2022	Tmrt (coperture verdi)	Tmrt (aree verdi)
Area1	1	34,58	33,05	29,45
	2	33,01	31,15	30,41
	3	30,99	29,4	27,56
Area2	4	38,07	40,16	39,37
	5	30,41	28,43	28,39
	6	47,09	46,9	46,03
Area3	7	51,06	48,91	39,74
	8	34,23	29,58	29,64
	9	39,75	39	36,53
Area4	10	40,36	40,1	37,75
	11	34,85	31,76	32,72
	12	54,89	54,44	27,76
Area5	13	45,8	44,31	43,41
	14	27,7	23,34	23,55
	15	36,42	24,59	26,16
Area6	16	51,76	49,76	46,31
	17	50,99	50,5	27,25
	18	52,29	50,9	50,37

### 10.5 Confronti grafici PET e UTCI delle singole varianti

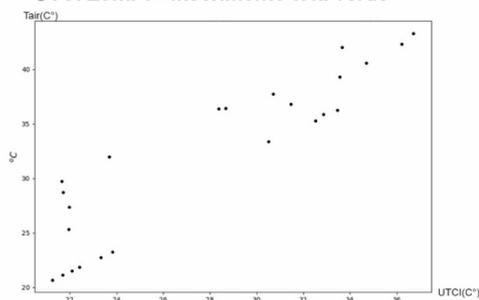
Come fatto nello studio dello stato di fatto delle singole zone caso studio durante il periodo di riferimento del 14/08/2021 e nel 01/08/2022 è stato possibile ottenere gli stessi valori e gli stessi grafici degli indici di comfort calcolati tenendo conto delle variazioni ad intervalli orari nell'arco della giornata, da questo calcolo non solo è utile per poter confrontare i due valori delle rispettive strategie ma anche per verificare come gl'indici di comfort abbiano portato dei benefici per le diverse zone urbane, inoltre grazie all'integrazione dei grafici sarà possibile vedere come durante l'arco della giornata l'andamento del comfort termico rimane costante oppure ha subito delle variazioni altalenanti o discontinue in conformità dei fattori fino ad ora citati fondamentali per strutturare ed individuare gli aspetti preponderanti che. Influenzano e incrementano lo stress termico in relazione alle UHI; inoltre, quello che ho voluto individuare all'interno di questa valutazione degli indici di comfort termico PET e UTCI è delle considerazioni concrete per la quale

i grafici giornalieri hanno portato fenomeni di mitigazione e quindi come. sono variati i valori ottenuti dall'andamento giornaliero dei due indici di comfort rispetto alle due strategie sostenibili calcolate, strutturando, anche. In questo frangente, sulla relazione che c'è tra questi indici di comfort termico rispetto alla temperatura dell'aria .

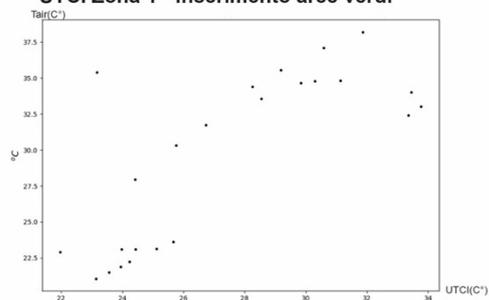
### Risultati UTCI per le strategie di mitigazione delle UHI

#### ANDAMENTO LEGATO AI CANYON URBANI

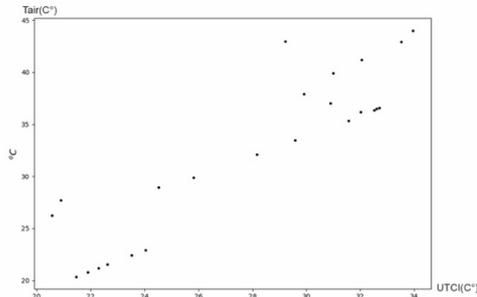
**UTCI Zona 1 - Inserimento tetti verde**



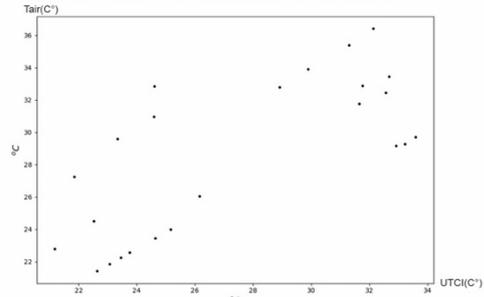
**UTCI Zona 1 - Inserimento aree verdi**



**UTCI Zona 3 - Inserimento tetti verde**

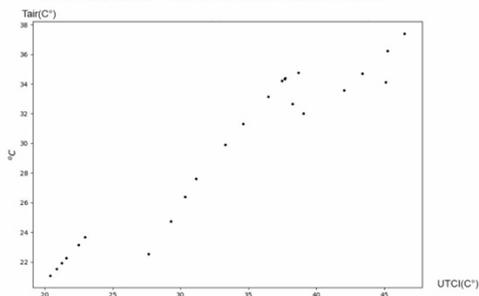


**UTCI Zona 3 - Inserimento aree verdi**

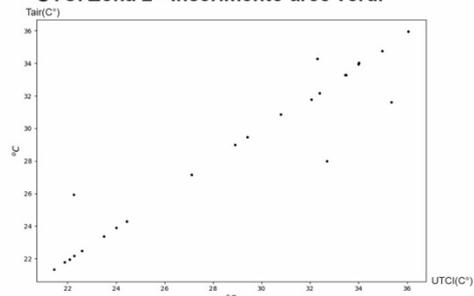


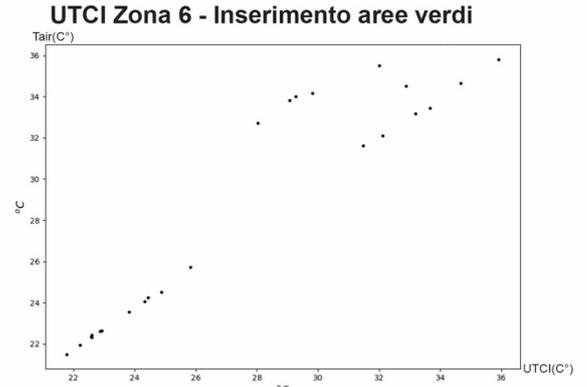
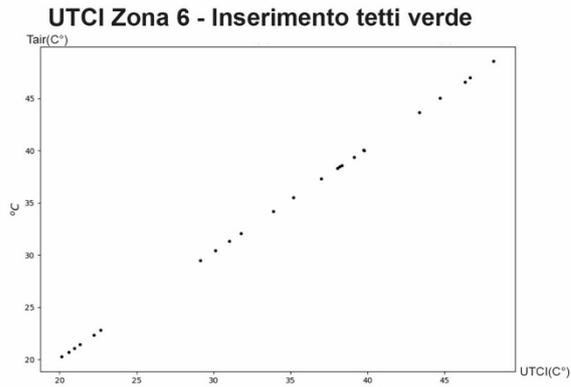
#### ANDAMENTO LEGATO A VASTE AREE E SPAZI CEMENTATI

**UTCI Zona 2 - Inserimento tetti verde**



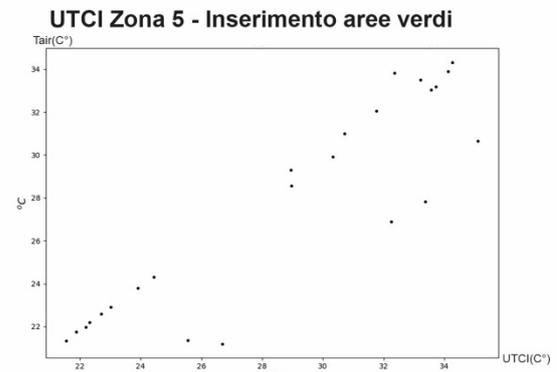
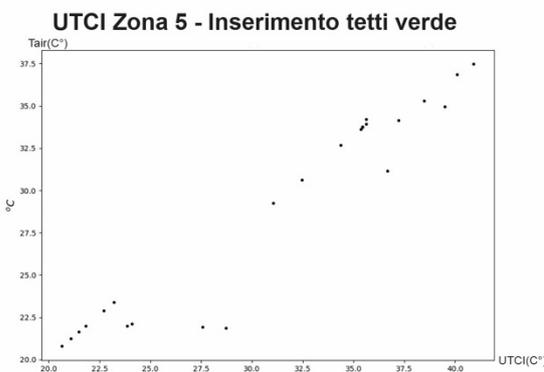
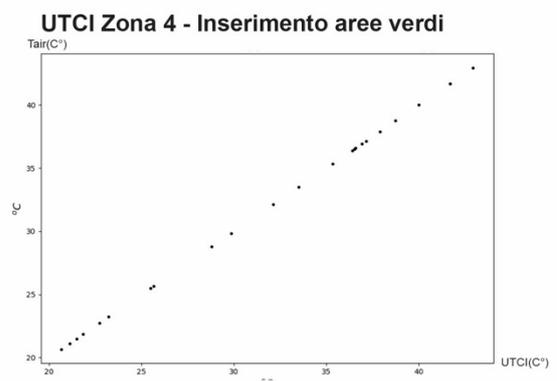
**UTCI Zona 2 - Inserimento aree verdi**





**Risultati UTCI per le strategie di mitigazione delle UHI**

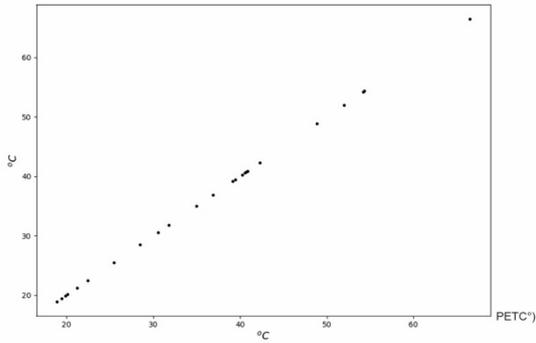
ANDAMENTO LEGATO ALL'ORIENTAMENTO E ALL'ESPOSIZIONE



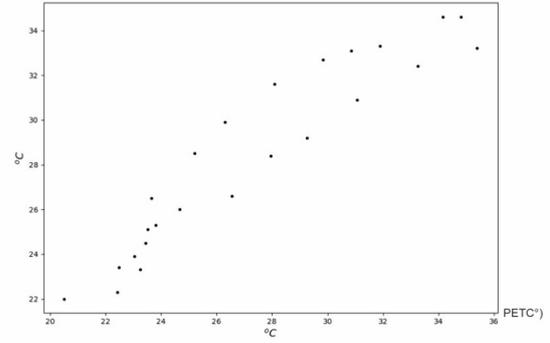
## Risultati PET per le strategie di mitigazione delle UHI

### ANDAMENTO LEGATO AI CANYON URBANI

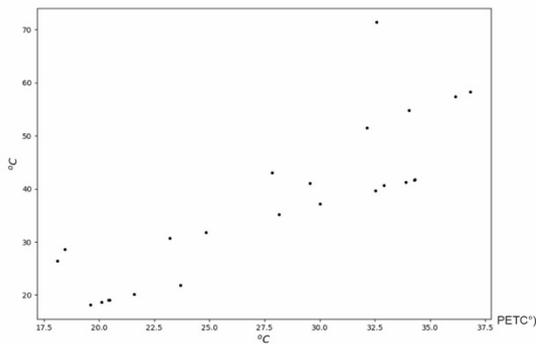
**PET Zona 1 - Inserimento tetti verde**



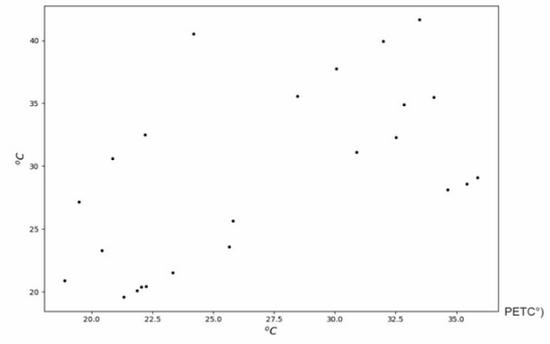
**PET Zona 1 - Inserimento aree verdi**



**PET Zona 3 - Inserimento tetti verde**

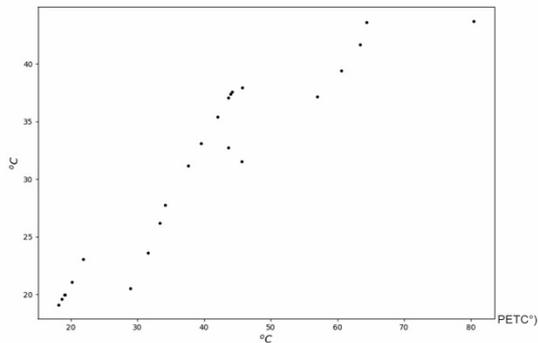


**PET Zona 3 - Inserimento aree verdi**

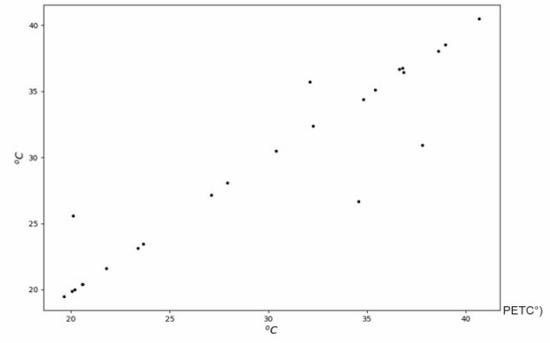


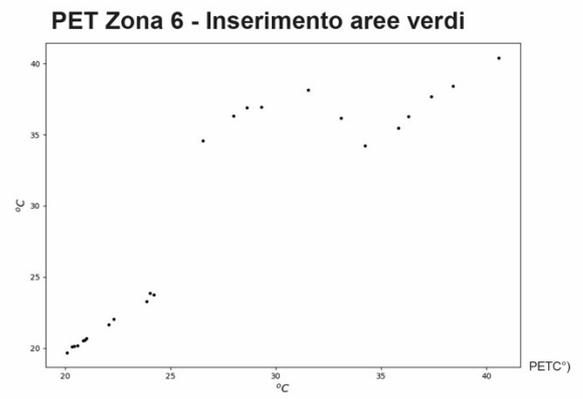
### ANDAMENTO LEGATO A VASTE AREE E SPAZI CEMENTATI

**PET Zona 2 - Inserimento tetti verde**



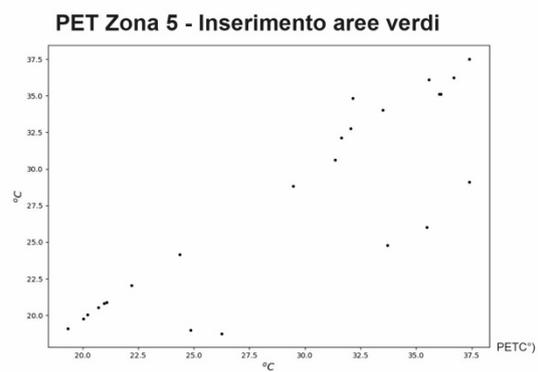
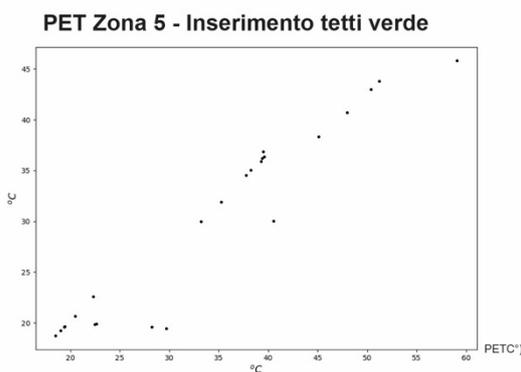
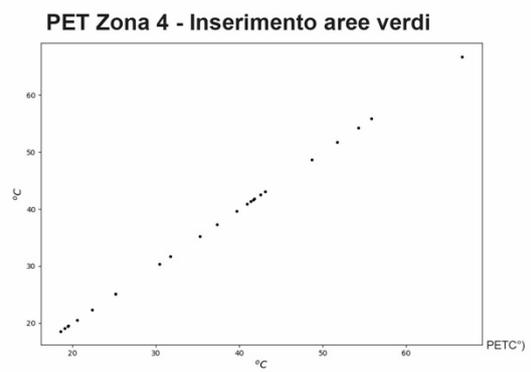
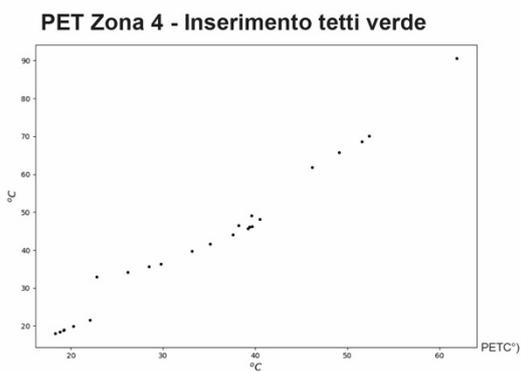
**PET Zona 2 - Inserimento aree verdi**





**Risultati PET per le strategie di mitigazione delle UHI**

ANDAMENTO LEGATO ALL'ORIENTAMENTO E ALL'ESPOSIZIONE



Da questo studio inerente g'indici di comfort termico si denota come l'inserimento di queste strategie ha portato diversi risultati , si nota infatti come se si confrontano le due strategie prese

in esame sia per quanto riguarda i PET e l'UTCI vi sono zone ove l'andamento del comfort termico ha portato o andamenti molto simili o addirittura molto diversi l'uno con l'altro, invece si nota in altri casi come i valori hanno subito delle variazioni minimali solo in determinate fasce orarie. Entrando nello specifico delle analisi di queste varianti troviamo come molto spesso integrando queste strategie nelle diverse zone caso studio ha portato a risultati del comfort termico di PET molto differenti rispetto alla UTCI, infatti troviamo che se in una Zona questo valore si riscontra un andamento di crescita lineare rispetto a quello della temperatura dell'aria di conseguenza ha comportato che l'andamento orario del PET presenta andamenti altalenanti e discontinui; per questo ne deriva che in conformità di questi grafici ho redatto una tabella con i valori medi di PET e UTCI anche per comprendere, in relazione alle fasce con cui è classificato lo stress, di conseguenza confrontare suddetti valori con i grafici dell'andamento orario :

### Valori indici di comfort termico rispetto alle strategie

Risultati indici di comfort termico UTCI e PET					
Aree	Punti di interesse	Integrazione aree verdi		Integrazione coperture verdi	
		UTCI	PET	UTCI	PET
Zona 1	POI1	27,87	28,5	27,34	27,3
	POI2	32,08	36,21	29,6	31,26
Zona 2	POI1	33,47	39,87	28,81	29,61
	POI2	29,48	30,84	28,61	29,24
Zona 3	POI1	33,4	32,34	27,39	27,02
	POI2	29,07	28,7	27,32	26,87
Zona 4	POI1	31,14	34,52	28,62	29,1
	POI2	34,49	42,47	27,55	27,42
Zona 5	POI1	28,81	29,9	28,62	29,1
	POI2	30,14	32,11	27,55	27,42
Zona 5	POI1	33,16	41,56	27,62	27,51
	POI2	34,36	42,12	24,47	29,08

Dunque, da questa tabella in conformità con i risultati ottenuti dai grafici ho potuto trarre delle considerazioni rilevanti per quanto riguarda quale sia la strategia più efficace per la mitigazione dello stress termico e nel migliorare i parametri di comfort termico anche in conformità della normativa UNI/EN che determina, sia per il PET che l'UTCI, una classificazione del livello dello

stress; per questo se si osserva in generale quali sono i risultati di PET e UTCI per quanto riguarda sia la strategia dei tetti verdi e delle coperture verdi si delinea come quest'ultima come anche per la Tmrt è risultata la strategia più efficace e positiva, per tutte le zone caso studio, e per questo ha comportato come si delineano l'abbassamento dello stress termico passando da livelli molto alti di stress raggiungendo standard moderati sia. Per quanto riguarda il PET che per l'UTCI, al contrario se andiamo a guardare i valori ottenuti dalla strategia delle aree verdi ha comportato che. solo in alcune aree vi è stata una vera e propria mitigazione invece per le altre i livelli di comfort per l'UTCI denota valori della normativa con stress termico molto forte ed addirittura estremi.

Nello specifico se andiamo a visualizzare quali siano i risultati ottenuti dalla strategia derivati dalle aree verdi si nota come si è ottenuto risultati positivi rilevanti univocamente nelle aree cementate della Zona 1 e 3 ove troviamo un miglioramento dello stress termico sia del PET che dell'UTCI dove si riscontra che. In gran parte della giornata in relazione all'innalzamento della temperatura dell'aria ha portato ad avere un abbassamento del stress termico e di conseguenza un miglioramento del comfort, tale aspetto è legato in entrambi i casi all'efficacia dell'intervento in conformità del tessuto urbano preso in esame ove, come già visto in precedenza, vi sono presentate zone o comunque spiazzi per la quale in gran parte delle. Ore più calde ha portato a condizioni di benessere per l'uomo per l'indice di PET ed un disagio da caldo moderato per quanto riguarda l'UTCI

Tale considerazione è significativa perché come. Abbiamo già visto nel calcolo della Tmrt o addirittura all'inizio con la LST si delinea come i valori presenti nelle piazze e nelle aree ad alta densità edificatoria hanno portato come i valori della temperatura siano molto alti tali che la UHI siano evidenti ad occhio nudo, guardando i risultati degli indici di comfort ha dimostrato come i risultati positivi individuati nei grafici sia dal PET che dall'UTCI dimostra come la strategia usata di integrare aree verdi in queste zone ha portato risultati parzialmente ottimali che al contrario quanto l'integrazione di coperture verdi non è così visto che. Si delinea una crescita lineare che. Dimostra una crescita continua dello stress termico relazionato all'innalzamento di LST e temperatura dell'aria che a sua volta sono influenzati da livelli significativi di densità edificatoria e nello specifico, per quanto riguarda la zona 1, dall'impossibilità di integrare coperture verdi a livelli tali da avere una risposta positiva.

Nello specifico se si confrontano i risultati delle tabelle l'area interessata, della Zona 1, ove l'inserimento di aree verdi con filari di alberi ha ridotto i valori di PET e UTCI a 28,5°C per il primo e di 27,87 per quanto riguarda il secondo e secondo gli standard sono individuati come temperature moderate e quindi livelli di stress e UHI non particolarmente influenti nel creare discomfort nell'attività umana in quella determinata area di tessuto urbano e come già detto ciò

è stato possibile grazie alla presenza di schermature naturali derivate dall'inserimento di alberi che vanno ad influenzare in maniera positiva la Tmrt nell'arco della giornata, al contrario i risultati ottenuti dall'inserimento di coperture verdi si riscontra una mitigazione, portando uno standard di stress moderato, con valori di 27,34°C per l'UTCI e di 27,3°C per il PET, che possono risultare positivi in un primo momento, ma che confrontato con i grafici dell'andamento orario giornaliero si denota una crescita continua di UTC e PET senza mai subire una variazione o un abbassamento, al contrario l'introduzione di aree verdi a raggiunto i valori più bassi attorno ai 25-26°C.

Invece per quanto riguarda le zone per la quale l'integrazione di aree verdi ha portato valori negativi riguarda appunto la Zona 4 e la Zona 6, infatti in queste casistiche l'integrazione di aree verdi doveva essere fondamentale per portare una mitigazione ed un miglioramento degli standard dei livelli di comfort termico, ma al contrario si riscontra come i caratteri distintivi delle aree edificate e delle piazze cementate sono caratterizzate da valori della Tmrt talmente elevati per la quale l'inserimento di aree verdi e alberi non ha portato particolari mitigazioni o quanto meno limitate a dei nuclei specifici e ristretti dimostrano come i risultati mantengono valori di stress termico urbano particolarmente elevati per entrambi i punti di interesse infatti nello specifico sono facendo una media di questi valori troviamo uno stress medio gioraliere per la Zona 4 di 32°C per l'UTCI e di 37,5°C del PET al contrario per la Zona 6 troviamo come i valori dell'UTCI sono di 34,46° ed al contrario il PET di questa zona è di 42,12°C; quello che si nota dai risultati è che troviamo dei valori del PET per entrambi i punti di interesse che sono molto più alti rispetto a quelli dell'UTCI infatti il primo indice, secondo gli standard, rientra nella classificazione di stress termico estremo e quindi molto gravi invece per quanto riguarda il PET troviamo valori più bassi ma che al contrario non risulta vi sia uno stress termico estremo ma al contrario comunque molto forte e che dunque costituisce una problematica per il clima di queste aree urbane.

Per questo andando ad analizza nel dettaglio ogni singola zona si riscontra come partendo dalla Zona 4 si denota come le aree cementata la quale è stato inserito un punto di interesse non ha subito alcuna variazione e se andiamo a confrontarlo con i risultati ottenuti dai grafici che riportano i valori dell'andamento orario giornaliero del comfort urbano denota che le variazioni sono particolarmente marginali e per giunta inseriscono in quelle aree ove l'aumentare del stress termico è legata all'aumentare della temperature, dunque, in conformità alle caratteristiche del tessuto urbano un drastico peggioramento dei valori della temperatura e dello stato di comfort; in maniera analoga si possono fare delle considerazioni simili per quanto riguarda la Zona 6 dove troviamo che anche in questa casistica l'andamento della zona, prettamente industriale, segue un andamento di crescita lineare seguendo una diagonale che però a metà subisce una variazione o anomalia che spezza l'andamento lineare dei valori orari in

particolare questo è chiaramente più evidente per quanto riguarda il PET, ed è anche un aspetto logico in relazione al fatto che in questa zona come la Zona 4 rappresenta l'indice con i valori più alti rispetto a quelli dell'UTCI ed è evidentemente questo aspetto dai grafici orari in relazione alle ore più calde che hanno innalzato la temperatura dei materiali determinando uno sbalzo eccessivo dello stress termico,

Al contrario andando ad osservare le altre zone interessate da interventi di aree verdi si nota come tornando a prendere in considerazione le Zone 1 e 5 troviamo per quanto riguarda i punti di interesse POI2 inerente al rilevamento del confort termico in aree verdi delinea come non vi è stato alcun cambiamento mantenendo degli standard di peggioramento della temperatura e quindi troviamo come nella Zona 1 si riscontra come l'UTCI è di 32,08°C e il PET di 36,23°C, invece per quanto riguarda la Zona 5 si verificano valori di 30,14°C per l'UTCI ed invece di 32,11°C; anche in questa casistica si nota come i valori del PET son più alti rispetto all'UTCI e nello specifico si nota come questa caratteristica è particolarmente evidente se andiamo a guardare i risultati dei grafici per quanto riguarda l'andamento orario giornaliero; infatti, si nota come questo l'aspetto particolarmente negativo è nell'andamento dei grafici dell'UTCI e PET della Zona 5 e quindi nello specifico possiamo notare che come abbiamo già detto in precedenza questi valori negativi delineano un andamento quasi lineare in crescita a causa dei valori non eccessivamente estremi del stress da confort termico estivo.

In fine passando ad osservare i valori ottenuti dal calcolo delle zone andando ad integrare valori per la quale vi siano coperture verdi riscontra dunque come abbino portato per la maggioranza valori positivi nello specifico in zone per la quale è evidente la presenza di un livello molto alto di densità edificatoria per la quale si rivela particolarmente difficile integrare aree verdi al livello del suolo e quindi si dimostra chiaro che il calcolo degli indici di confort termico deve essere indirizzato principalmente nell'inserimento di coperture verdi e vegetali ove le coperture risultano piane; dunque entrando nello specifico del calcolo di PET e UTCI di queste zone abbiamo già visto che la gran parte di queste, sia per quanto riguarda i valori del POI1 che del POI2 denota come in relazione agli standard della normativa entrambe le tipologie rientrano in valori della UHI e dello stress termico di tipo moderato; possiamo infatti riassumere come il range medio sia del PET e dell'UTCI rientra dai 27,5°C ai 28,5°C.

D'altro canto, si nota come da questo calcolo delle zone ove sono stati integrate strategie di coperture verdi vi siano anche delle casistiche in cui questo calcolo non ha portato alcun risultato positivo e che per giunta ha determinato che i risultati finali hanno determinato come queste casistiche riguardano il punto di interesse POI1 della Zona 1 infatti si nota come per i valori del PET ottenuti di 31,24°C in conformità con le fasce di stress decretate dalla normativa gli standard che si evidenziano sono particolarmente alti per la quale sono ben oltre un confort termico

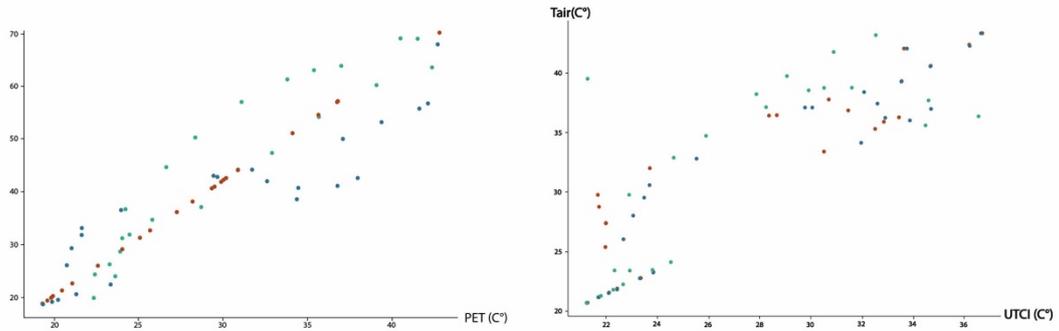
moderato e avvicinandosi a valori di stress termico forte, infatti, se si osserva in generale i valori ottenuti di entrambi i punti di interesse confrontati con i grafici orari di entrambi gli indici di comfort termico UTCI ma soprattutto per il PET l'andamento orario giornaliero risulta altalenante e si nota questa caratteristica se si va a vedere i risultati del PET ove questa variazione ha portato a diversi miglioramenti del comfort termico a diverse fasce orarie della giornata riducendo i livelli di comfort termico e quindi migliorando i livelli di benessere fisiologico anche se in relazione del contesto presente ha determinato orari in cui lo stress termico è moderato a orari successivi in cui lo stress termico aumenta; al contrario per quanto riguarda la Zona 5 questo andamento ha subito una variazione per cui il benessere è rimasto costante e dunque in relazione all'aumento delle temperature ha portato una riduzione improvvisa dello stress termico legato all'orientamento degli edifici ad una densità relativamente più bassa della Zona 1.

#### **10.5.1 Confronto Grafici Stato di Fatto con Variazioni.**

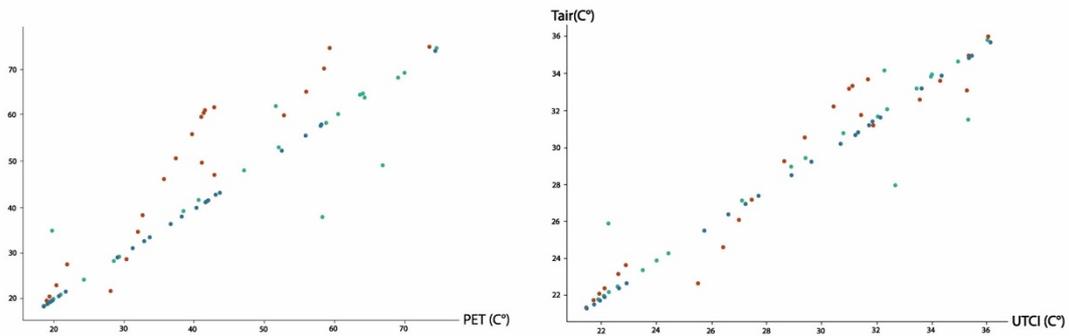
L'ultimo aspetto per la quale ho ritenuto necessario andare a svolgere un confronto è stato quello di mettere in relazione i valori ottenuti da queste due varianti rispetto a quelli ottenuti allo stato di fatto il 01/08/2022 relazionando questi aspetti in conformità delle sostanziali differenze di andamento orario del comfort prima e dopo gli interventi, per questo per ogni singolo intervento fatto per queste aree è stato scelto un colore che potesse permettere di distinguere i risultati delle variazioni tramite strategie di verde urbano rispetto alle coperture o dei valori dello stato di fatto; ho voluto svolgere questo sunto per poter dunque dare un confronto finale per la quale determinare cosa ha influenzato prima e dopo la Tmrt e UHI che ha portato dunque a valori iniziali di comfort e per cui sempre gli stessi fattori hanno portato ad alterare questo andamento per quanto riguarda le strategie, o addirittura se dai grafici è possibile individuare degli altri fattori per la quale questa variazione da stato di fatto a stato di progetto è in relazione ad altri aspetti derivati da altri fattori o di tipo climatico o morfologico.

## Grafici confronto stato di fatto e stato di progetto UTCI

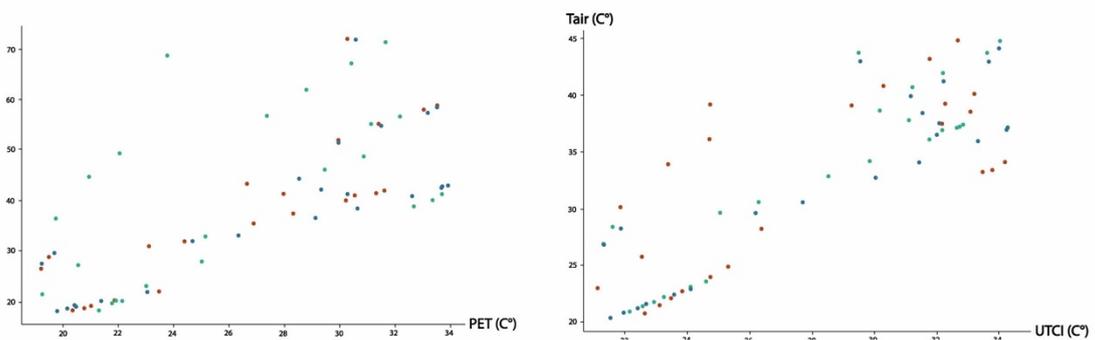
### ZONA 1



### ZONA 2



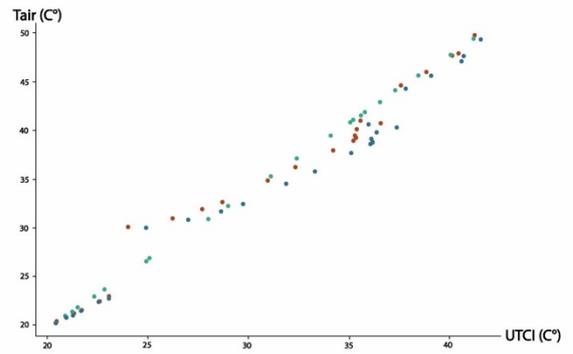
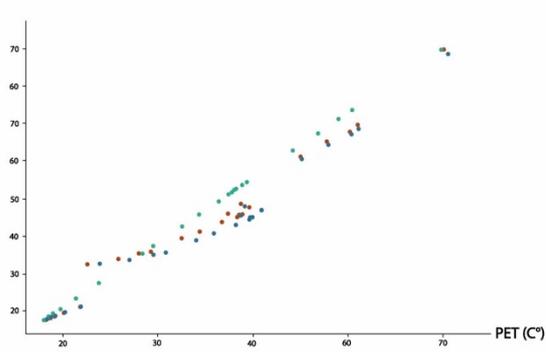
### ZONA 3



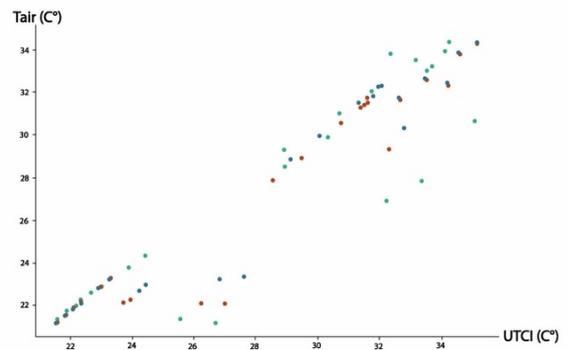
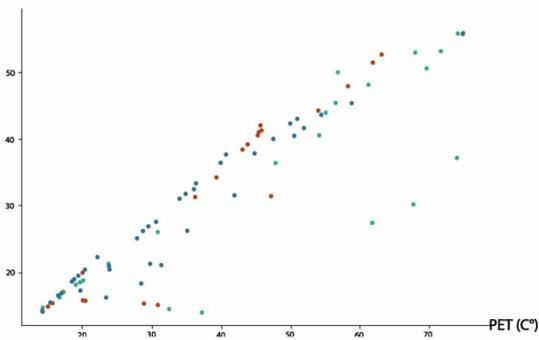
- Valori standard del 2022
- Valori ove sono presenti interventi di parchi e aree verdi
- Valori ove sono presenti interventi di coperture verdi

## Grafici confronto stato di fatto e stato di progetto

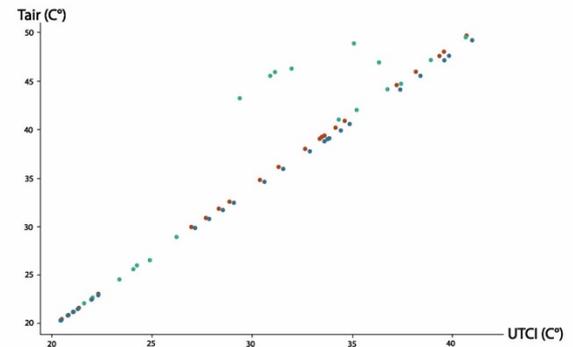
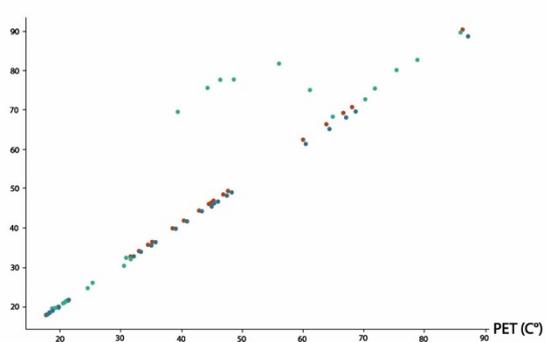
### ZONA 4



### ZONA 5



### ZONA 6



- Valori standard del 2022
- Valori ove sono presenti interventi di parchi e aree verdi
- Valori ove sono presenti interventi di coperture verdi

Infatti, se andiamo ad osservare i risultati ottenuti da questi grafici si nota come vi siano delle sostanziali differenze mettendo a confronto i valori ottenuti dello stato di fatto in conformità ai valori che si ottengono sia per i valori della UTCI che per il PET si delinea come l'andamento di entrambi i tre grafici sovrapposti fra loro rispettano delle caratteristiche molto simili tra loro nonostante la gran parte delle casistiche determina come le strategie si trovino in posizione relativamente più bassa rispetto ai valori iniziali dello stato di fatto delle zone da cui abbiamo iniziato a trarre i primi risultati inerenti al livello di comfort termico; infatti in generale si nota come a confermare quanto detto in precedenza nella gran parte dei casi, sia per quanto riguarda il PET che l'UTCI in relazione all'aumento della temperatura dell'aria, troviamo, sia nell'inserimento di coperture verdi che di aree verdi, una riduzione dei valori dello stress termico relazionata sempre alle diverse caratteristiche urbane delle morfologie presenti.

Infatti si nota nello specifico come se prendiamo i rispettivi risultati dei caso studio si nota partendo dalla Zona 1 come questa distinzione tra i 3 andamenti orari è particolarmente evidente nell'UTCI ove si delinea che l'andamento standard, come abbiamo già visto è caratterizzato da una curva tendente verso l'alto a significare la crescita continua dei valori positivi con un picco nelle ore pomeridiane nell'arco della giornata confermando l'effetto positivo dell'inserimento di aree verdi al contrario con la copertura verde ha portato una regolarizzazione dell'andamento in crescita legata fondamentalmente allo scarso inserimento di coperture vegetali considerando anche la bassa presenza di coperture piane che ha portato alla crescita lineare negativa dello stress termico sia di PET che UTCI al contrario risultano ancora più positivi quelli dell'UTCI dell'inserimento di aree verdi che ha permesso di avere un indice di miglioramento del comfort termico dell'UTCI generando una curva tendente verso il basso ottenendo valori più bassi di comfort termico alle temperature più basse tra i 24°-25°C; Se osserviamo anche le Zone 3 e 5 suddette caratteristiche sono evidenti anche per quanto riguarda questi andamenti nello specifico si nota come l'andamento in entrambi i casi porta in maniera identica all'interno dei grafici per poi svilupparsi in maniera diversa in conformità della variazione della Tmrt influenzata dalle caratteristiche della morfologia urbana e dalle variazioni sul clima e mitigazione delle UHI da parte delle strategie verdi integrate in queste zone.

Si delinea dunque come i valori dove l'andamento porta variazioni più significative riguarda la Zona 3 che rispetto alla 5 sia per il PET che per la UTCI delinea come tra le due strategie quelle ove porta dei miglioramenti riguardano l'inserimento di coperture verdi che ha migliorato il livello di confort urbani, infatti tutto questo è funzionale alle caratteristiche morfologiche del tessuto urbano per la quale vi è presente un alta densità morfologica e quindi questa soluzione è la più funzionale; infatti possiamo confermare come sia per il PET che per l'UTCI si nota come l'andamento orari che riguarda l'intervento di aree verdi pare non sia funzionale all'area in cui sia

stato applicato e per la quale si nota come sia nettamente superiore rispetto agli altri andamenti con una curva discontinua tendente verso l'alto, ove si nota che presenta i picchi più alti e quindi come strategia non funge in maniera utile all'area interessata; al contrario per la Zona 5 si nota come entrambe le casistiche di inserimento o di coperture verdi o di aree verdi a determinato delle variazioni di miglioramento dove la curva dell'andamento, anche se discontinua dimostra un miglioramento del clima permettendo di migliorare gli standard climatici nonostante le caratteristiche morfologiche e che nello specifico come già visto nella Zona 1 si delinea come. il livello di confort è particolarmente positivo durante le fasce ore più calde ove l'abbassamento di temperatura ha portato ad un miglioramento evidente dello stress termico

Al contrario se andiamo a guardare i risultati della Zona 6 si denota un andamento parzialmente lineare che si spezza nelle prime ore del pomeriggio ove si denota come l'andamento cambia completamente andando ad evidenziare una curva con valori positivi tendente verso l'alto che dimostra l'innalzamento delle temperature rispetto l'inserimento di aree verdi, e che dunque non ha portato in nelle ore pomeridiane valori positivi sia da parte del PET che da parte dell'UTCI e quindi si delinea che durante le ore più calde i valori medi, in conformità alla normativa dimostra inferiori a 26°C e quindi individuabili come valori inesistenti di stress termico e raggiungendo valori di stress termico medi e moderati nel tardo pomeriggio con valori tra i 25°-27°C, questo aspetto riguarda principalmente, come ampiamente visto, alla sostituzione eccessiva di cemento in questa zona di cui la gran parte molto vecchi che, con diverse aree verdi e filari di alberi che. In relazione di questo abbassamento a determinato un miglioramento del confort che potenzialmente ha portato anche ad un miglioramento delle UHI.

Invece per quanto riguarda la Zona 1 anche in questi grafici ha dimostrato come ha portato una variazione discontinua sia per quanto riguarda per quanto riguarda l'UTCI il PET di difficile comprensione e per cui si delinea due andamenti differenti della curva sia per le aree verdi che per quanto riguarda le coperture verdi, infatti si nota come se osserviamo i valori di UTC e PET dimostrano di essere in continuo miglioramento mantenendo un andamento costante e positivo del confort in relazione all'aumento della temperatura, al contrario per quanto riguarda l'UTCI i valori risultano diametralmente opposti e rappresentano i valori principali per cui dimostrano come in questa zona risulta molto più favorevole. L'integrazione di aree verdi rispetto alle coperture.



## 11 CONSIDERAZIONI FINALI

### 11.1 Quantificazione delle aree verdi

Dunque, in relazione ai valori ottenuti ed ampiamente descritti nei precedenti capitoli inerenti all'integrazione di soluzioni verdi e quindi mi ha portato a porre delle considerazioni più dettagliate in merito a svolgere una quantificazione inerente quale possano essere le percentuali minime per cui possano portare ad un miglioramento del comfort termico e di conseguenza una riduzione del fenomeno delle UHI, per questo tipologia di considerazione vanno tenuti da conto non solo i risultati ottenuti fino ad ora inerenti il comfort termico ed inoltre anche quale sia la percentuale vera di verde esistente e di conseguenza in relazione al verde integrato quale il valore minimo integrato ed in relazione di ciò si può determinare dunque se i valori ottenuti fino ad adesso sia ottimale ed al contrario se suddetti valori, di conseguenza, se una delle strategie applicate necessiti l'inserimento dell'altra strategia usata portando quindi a un miglioramento di questi studi:

Valori percentuali di verde (%)			
Zone	% verde esistente	% verde integrato per coperture vegetali	% verde integrato per aree verdi
Zona 1	0,92	23,5	11,2
Zona 2	4,01	18,1	19,2
Zona 3	3,49	30,9	15,4
Zona 4	9,36	34,9	30
Zona 5	0,01	22	21,5
Zona 6	3,06	22,9	23,4

Dunque in conformità di questi valori delle percentuali ottenute per le differenti strategie sarà possibile individuare quale possa essere lo standard minimo per queste strategie e di conseguenza se in determinate zone possa essere utile per migliorare i risultati del comfort termico e di conseguenze delle UHI; infatti andando a considerare ogni zona si riscontra come si

riscontra che una determinata strategia non necessiti di integrare anche l'altra, infatti come abbiamo visto fino ad ora il verde integrato nelle coperture denota come abbia portato in gran parte delle zone dei risultati relativamente ottimali e da come è già stato dimostrato ha portato un andamento giornaliero positivo, inoltre si può denotare come in relazione alle percentuali di verde integrate nelle coperture paragonate alle zone ove ha portato valori positivi si riscontra che, in generale i valori minimi che mi ha fatto determinare che sia, sufficiente per portare una mitigazione del comfort e delle UHI è del 15% che troviamo nella Zona 3 ed inoltre in conformità della dimensione relativamente ridotta di questa zona al contrario è stato dimostrato come valori inferiori di questo parametro si sono rivelati insufficienti per portare un miglioramento di questo fenomeno e di conseguenza il più chiaro esempio per questo caso è appunto la Zona 1 ove la mitigazione da parte delle coperture non è bastata anche in conformità del valore integrato di aree verdi nei tetti solo del 11% rispetto ai 0,92% già esistenti.

D'altro canto si riscontra come i valori minimi di mitigazioni di aree verdi risultano relativamente differenti e per questo ha portato a standard relativamente più alti e di conseguenza ha reso per la gran parte risultati considerevolmente negativi per la gran parte delle zone infatti per poter avere una mitigazione bisogna avere quantomeno un valore di percentuale minima almeno del 23,9%, e di conseguenza è dimostrato come le altre zone come presentato valori marginalmente inferiori tra il 0,5-1% non sono stati sufficienti a mitigare queste zone ed è stato utile per dimostrare come l'integrazione dell'altra tipologia di soluzione porterà ad avere un miglioramento di questo fenomeno, infatti se osserviamo le zone analizzate fino ad ora è chiaro che, prendendo in esame le Zone 4 e 5 e si confrontano le due strategie si evidenzia che, le aree al livello del suolo che presentano criticità tali a causa del fatto che in suddette aree non possono essere integrate aree verdi al contrario nella altra strategia a dimostrato valori per cui i livelli di comfort e quindi i livelli delle UHI si sono ridotti drasticamente, e per cui in conformità ai fattori presenti se unite le due strategie porteranno ad un miglioramento tale da compensare questo aspetto, infatti, a confermare ciò è dimostrato dalla Zona 5 che presenta valori relativamente bassi di coperture verdi integrate ma che, comunque, hanno rappresentato una percentuale sufficiente per compensare i valori insufficienti determinati dai risultati del comfort termico e della Tmrt delle aree verdi.

In fine la Zona 4 assieme alla 2 dimostra come siano le due zone considerevolmente più problematiche per integrare questo genere di intervento e per cui ho rilevato come integrare questo genere di soluzioni non potrebbe portare risultati ottimali in quelle zone nello specifico l'esempio più evidente è appunto la zona 4 che a causa della sua esposizione e dell'orientamento si riscontrano alcune zone, per cui difficilmente possano essere mitigate nello specifici come è stato più volte dimostrato con i valori di LST, UTFV e Tmrt presenta valori per cui l'area in

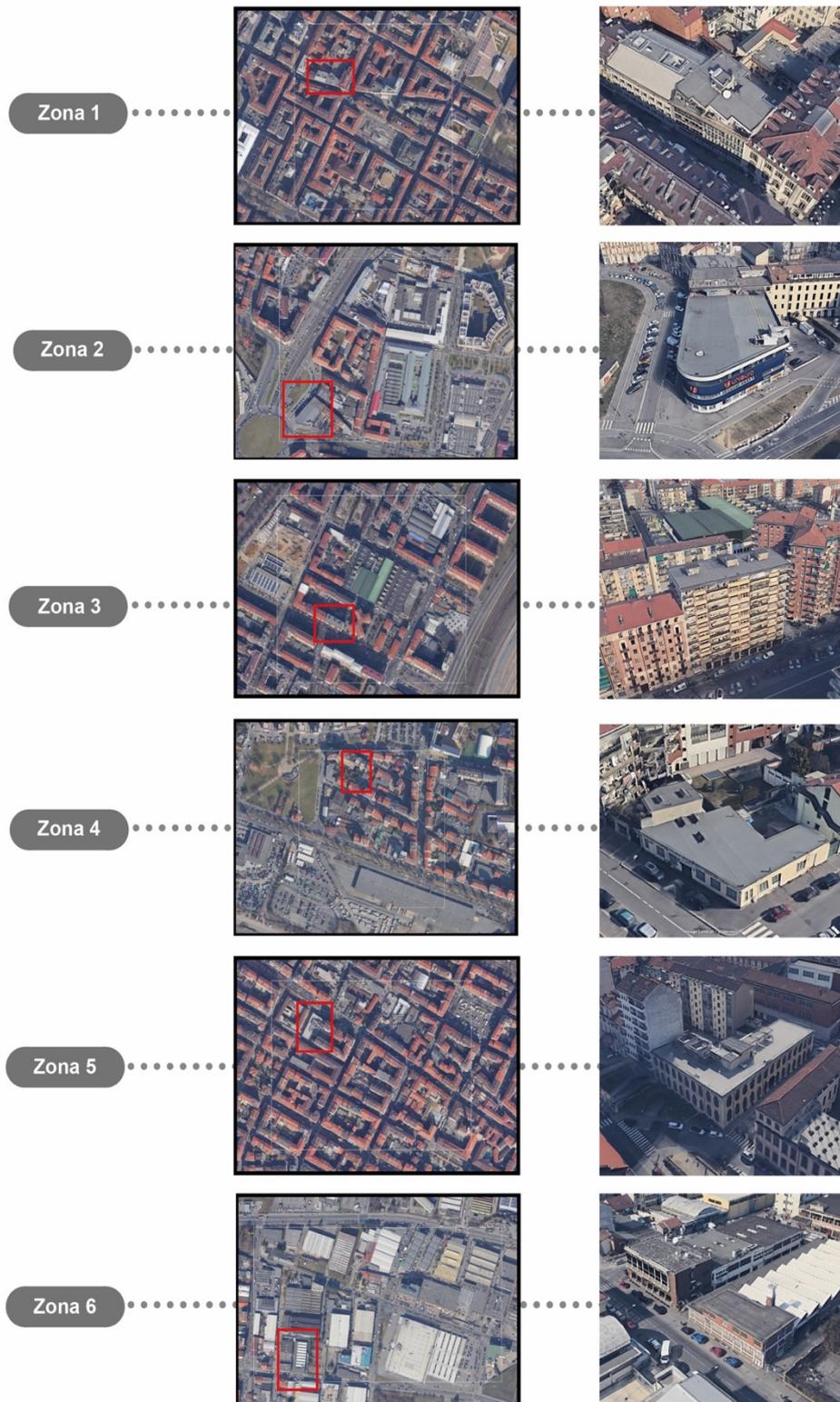
questione, ovvero il vasto spiazzo in cemento a sud della Zona 4, difficilmente ha reso possibile una mitigazione completa vera e propria e di conseguenza rende insufficienti i valori percentuali di aree verdi e coperture vegetali in queste zone e dovrebbero essere considerati altre tipologie di soluzioni quanto meno per avere un comfort termico che si espanda ad aree più vaste rispetto a quelle che sono state valutate.

## **11.2 Studio specifico di edifici soggetti ad interventi di mitigazione**

Come ormai ho ampiamente visto dai miei studi è evidente che dalle analisi svolte inerenti al fenomeno delle UHI e dell'influenza che può avere in maniera diretta sulla temperatura superficiale e ai rispettivi indici di confort, di cui ne sono direttamente correlati, si riscontra come in relazioni alle diverse morfologie presenti nel tessuto urbano della città possono determinare non solo diversi livelli di confort ma anche dei veri e propri sbalzi significativi della temperatura superficiale e di quella dell'aria che ha portato ad avere drastici livelli di UHI generando in alcune zone addirittura dei casi anomali, questo aspetto è chiaramente influenzato dalla morfologia urbana ma soprattutto dai materiali che compongono gli edifici e come già visto dallo studio si riscontra come la gran parte di questi fabbricati essendo risalenti a metà del XX secolo è molto probabile che in relazione ai materiali che li compongono, relativamente datati, presentano caratteristiche e proprietà per la quale ha portato ad avere temperature molto elevate; lo stesso aspetto riguarda anche al livello del suolo e del tessuto stradale infatti tra i diversi tessuti pavimentati come strade asfaltate (di cui in alcune casistiche usurato), marciapiedi e piazze è evidente come i materiali usati siano chiaramente fonte di influenza nell'incrementare il fenomeno delle UHI.

Per questo aver intervenuto su queste zone in maniera tale da verificare se vi sia una possibilità di mitigare questo fenomeno è stato relativamente utile, non solo per verificare i livelli di UHI, ma anche per determinare se vi sia un miglioramento dei livelli di PET e UTCI in queste zone confrontando su tutte le aree ove questo fenomeno sia mitigato, ma in relazione ai software utilizzati, ovvero Quantum GIS e Umap SOLWEIG, le strategie applicabili sono fondamentalmente inerenti univocamente l'inserimento di aree verdi, vista l'impossibilità del software di integrare in maniera mirata su pavimentazioni e coperture di materiali chiari riflettenti, che mi ha permesso di verificare se queste strategie, tramite coperture verdi o aree verdi, abbia portato un miglioramento oppure no, per questo oltre a svolgere uno studio a carattere territoriale e dei vantaggi che ha portato nel quartiere ho ritenuto necessario visualizzare in maniera puntuale di

quale potessero essere i benefici di un edificio standard presente in questa zona ove sono stati integrate entrambe le due strategie verdi e che quindi quale sia il miglioramento di comfort per i residenti o lavoratori abituali in quei determinati complessi.



L'individuazione degli edifici specifici per questo studio è fondamentalmente mirata, come già detto, a selezionare un fabbricato o edificio, la quale presenta le. caratteristiche per la quale, non solo vi siano valori particolarmente alti della temperatura media radiante ma inoltre dovevano essere situati in una zona per la quale fossero presenti entrambe le strategie ovvero le coperture verdi e le aree verdi e dunque gli edifici selezionati dovevano presentare preferibilmente delle coperture verdi; quindi, i risultati ottenuti da questo studio mirato non solo tiene conto sia dei valori della Tmrt delle due strategie ma anche dei valori ottenuti nel periodo di riferimento estivo del del 01/08/2022, in relazione a ciò il confronto delle temperature della Tmrt di questi quattro risultati è stato preso dalle cartografie tematiche specifiche di questo parametro e che quindi individua un risultato che quindi non individua soltanto l'edificio di riferimento; per questo il valore della Tmrt associato all'edificio selezionato non solo fa riferimento a questo edificio ma anche all'area limitrofa e quindi in conformità a ciò ad una possibile mitigazione dei valori della UHI anche negli edifici e strade limitrofe ed antistanti:

### Zona 1



#### VALORI EDIFICIO ZONA 1 TMRT

Valore del 01/08/2022	59,41
Valore con presenza tetto verde	57,75
Valore con presenza di aree verdi	57,67

Per quanto riguarda questa prima zona troviamo che l'edificio preso in esame, situato in prossimità di una via molto stretta adiacente ad una piazza cementata, è caratterizzato da valori molto elevati e per la quale l'attuazione di strategie dell'inserimento di coperture verdi e aree verdi ha comportato come l'abbassamento delle temperature e relativamente marginale ovvero non delinea particolari riduzione infatti se andiamo a confrontare il periodo di riferimento in relazione alle strategie c'è stato un abbassamento della Tmrt di 2,3°C rispetto al 2022 e di 1°C rispetto al 2022; questo aspetto è riconducibile alle caratteristiche morfologiche presenti in questa zona infatti anche dalle immagini si nota come l'edificio ove è stata applicata una copertura vegetale e si trova attaccato e a ridosso diversi edifici e palazzi che rappresentano la dimostrazione di come l'alta densità edificatoria ha portato ad avere un abbassamento della UHI relativamente indifferente.

Lo stesso principio vale per l'inserimento delle aree verdi infatti le caratteristiche morfologiche presenti hanno fatto in modo che le aree, in questa zona, ove fosse possibile integrare aree verdi

sono particolarmente limitate e dunque in questa casistica l'edificio preso in esame fu influenzato univocamente dall'area verde potenziata, grazie all'inserimento di alberi, nella corte interna nel retro dell'edificio; ma essendo un area verde di limitata dimensione, anche in questo frangente non ha portato nessun miglioramento del fenomeno della UHI.

## Zona 2



### VALORI EDIFICIO ZONA 2 TMRT

Valore del 01/08/2022	59,37
Valore con presenza tetto verde	57,16
Valore con presenza di aree verdi	57,67

Invece per quanto riguarda l'edificio preso in esame per questo confronto è stato preso in considerazione un fabbricato industriale o magazzino di media grande dimensione. Inserito in un contesto completamente differente rispetto alla Zona 1 infatti si nota come. Il tessuto urbano presente e relativamente caratterizzato da spiazzi aperti, con differenti pavimentazioni che vanno dal cemento ad aree verdi vegetate, e dunque. Nell'intorno si delinea una bassa presenza di edifici; infatti, se andiamo ad osservare i risultati ottenuti possiamo notare come anche in questa frangente, come la Zona 1, è chiaro come non vi sia stato un drastico miglioramento di questi valori, per questo possiamo notare come anche nella Zona 2 vi sia stato un abbassamento dei valori di circa 0,9°C.

Anche in questo frangente possiamo evidenziare come le motivazioni per la quale si riscontra questo incremento è riconducibile alla presenza di strade asfaltate e diversi spiazzi cementati che già allo stato di fatto influenzano sui valori della Tmrt con valori elevati tra i 58°C ed i 59°C per la quale sono anche. In questo frangente indice di sviluppo per le UHI; andando a vedere singolarmente le strategie è evidente come a influenzare questi aspetti sono riconducibili a fattori come già detto della percentuale significativa di cemento a livello della pavimentazione che ha portato a rilasciare fonti di calore a temperature molto elevate per la quale entrando a contatto con l'edificio di riferimento ha portato ad aumentare la temperatura superficiale dei materiali che lo compongono, di cui si nota dalla foto sono appunto in lamiera che rappresenta un ottimo conduttore di calore e che dunque, rappresenta un fattore negativo per le strategie applicate in questa zona; neanche per quanto riguarda le aree verdi ed alberi ulteriormente aggiunti nelle strette vicinanze

### Zona 3



#### VALORI EDIFICIO ZONA 3 TMRT

Valore del 01/08/2022	59,98
Valore con presenza tetto verde	57,31
Valore con presenza di aree verdi	57,68

In questa zona si può notare come si riscontrano caratteristiche morfologiche molto simili alla Zona 1 infatti si delinea che per molti aspetti l'edificio di riferimento preso in questa zona ha caratteristiche per la quale si possono trovare delle similitudini, non solo, anche il tessuto urbano presenta caratteristiche identitarie come le strade strette ove ai margini di essi si posizionano gli edifici, edificati l'uno a ridosso dell'altro e bassa presenza di verde urbano di cui abbiamo già trovato nella Zona 1, infatti se andiamo a guardare i valori di mitigazione di questo edificio sono praticamente identici a quelli della Zona 1 ove troviamo un abbassamento della temperatura di 2°C nel 2022; anche il problema dell'abbassamento della temperatura è riconducibile all'alta densità edificatoria presente anche se in percentuale inferiore rispetto alla Zona 1 ma che, però è sufficiente per impedire un fenomeno di mitigazione. in questa zona.

### Zona 4



#### VALORI EDIFICIO ZONA 4 TMRT

Valore del 01/08/2022	55,32
Valore con presenza tetto verde	52,89
Valore con presenza di aree verdi	49,76

Molto diversa è la situazione della Zona 4 la selezione di questo intervento è anche in funzione di una dei pochi edifici ove è presente una situazione ove fossero presenti entrambe le due tipologie di intervento di coperture verdi ed aree verdi, ma tornando sulle caratteristiche dell'edificio selezionato rispetto alle altre tipologie troviamo presenta caratteristiche opposte, vista l'altezza di un singolo piano e per cui si denota come è un punto a favore perché permette di accumulare maggiormente le temperature più fresche rispetto ad edifici alti che con il rilascio di calore tende

a salire ed ad accumularsi nei piani più alti dei fabbricati; ma un altro aspetto caratteristico che si nota è il contesto in cui è inserito l'edificio ovvero nelle strette vicinanze di un parco che rappresenta un fattore favorevole per la mitigazione delle temperature, e di una possibile riduzione. Delle UHI, infatti si riscontra come i valori di base della Tmrt di 55,32°C nel 2022.

Infatti, se andiamo a guardare i risultati ottenuti dal calcolo delle varianti anche in relazione delle caratteristiche precedentemente descritte i valori di mitigazione. in questo fabbricato sono molto più positivi rispetto alle zone viste in precedenza infatti troviamo come per quanto riguarda l'inserimento di coperture verde troviamo come la Tmrt è di 2,7°C rispetto al 2022; al contrario se andiamo a vedere i valori di mitigazione. rispetto all'inserimento e incremento di aree verdi troviamo che i valori si sono ridotti di 4,9°C.

È evidente come la strategia per la quale la mitigazione ha portato valori più significativi riguarda l'integrazione di Zone Verdi infatti si nota come l'intorno dell'edificio preso in esame è caratterizzato da un parco e da del verde urbano nel retro del fabbricato; questo aspetto rappresenta un fattore fondamentale e da quello che si vede dai risultati ha portato valori di mitigazione che a confrontati con le altre zone sono addirittura più del doppio.

## Zona 5



### VALORI EDIFICIO ZONA 5 TMRT

Valore del 01/08/2022	55,76
Valore con presenza tetto verde	46,63
Valore con presenza di aree verdi	51,90

Gli aspetti caratteristici che si possono individuare in questa zona sono a carattere morfologico gli stessi già visti nelle Zone 1 e 2 ma per l'alta densità edificatoria molto più riconducibili alla zona 1, d'altro canto la selezione dell'edificio di riferimento è ricaduta su un fabbricato che presenta un'altezza che è nella media viste le caratteristiche della zona, ma da quello che si nota dalle immagini come sia circondato da edifici di diversi piani più alti rispetto a quello selezionato, infatti, fungono come elementi di mitigazione in queste aree e per la quale vanno a motivare anche i valori standard sono di 55,76°C nel 2022 e si delinea per giunta come a confermare questo aspetto che se confrontati i valori con quelli delle Zone 1 e 2 sono più bassi di -3°C.

Inoltre, questo fattore da parte degli edifici limitrofi che fungono da schermatura rispetto all'edificio di riferimento permette di migliorare le prestazioni delle aree verdi e coperture vegetali integrate e dunque generando una temperatura di raffrescamento tale che l'edificio in

relazione alle strategie integrate ha portato ad un abbassamento delle temperature di 9,1° rispetto al 2022 per quanto riguarda l'intervento di coperture verdi ed invece un abbassamento di 3,9°C rispetto al 2022 per l'inserimento di aree verdi; in questo frangente si riscontra come il miglioramento delle temperature in questo edificio è particolarmente significativo grazie al miglioramento della copertura grazie all'integrazione di verde inoltre come già detto la schermatura degli edificio limitrofi che generano ombra ha determinato un miglioramento aggiuntivo dello standard del clima presente e ciò motiva anche i risultati molto più positivi ed influenti rispetto all'integrazione di aree verdi.

## Zona 6



### VALORI EDIFICIO ZONA 6 TMRT

Valore del 01/08/2022	59,23
Valore con presenza tetto verde	57,53
Valore con presenza di aree verdi	56,12

In fine per quanto riguarda quest'ultima zona è stata individuato un fabbricato di tipo industriale che però presenta solo parzialmente una copertura piana e che dalle caratteristiche architettoniche delle coperture si distinguono su due altezze di cui la più alta e la piana ed invece quella più bassa, non considerata per l'intervento presenta una copertura a falde tipica dei fabbricati industriali, infatti queste due. Tipologie di coperture sono state ampiamente dimostrate dai miei studi e classificazioni fatte in analisi precedenti anche in relazione alle caratteristiche della zona presa in esame.

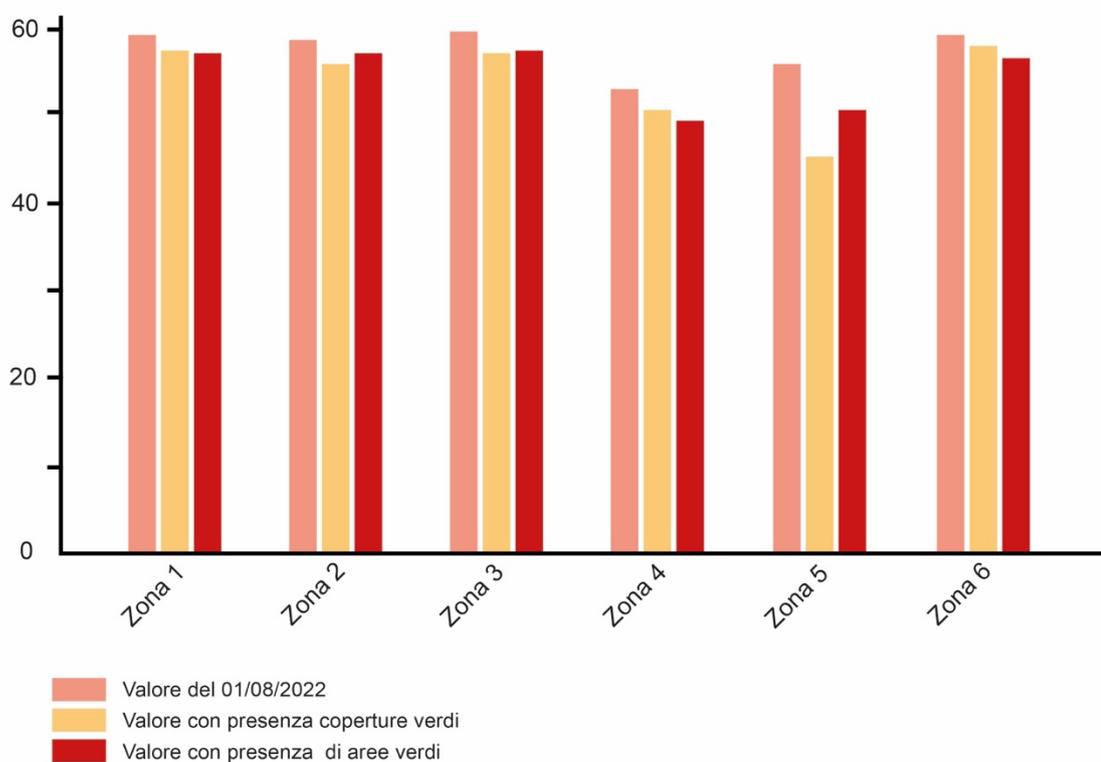
Infatti, se andiamo a vedere gli aspetti intrinseci che sono presenti in questa zona si denota come l'intera zona presenta nella sua interezza aspetti critici per la quale influenza anche l'edificio preso in esame infatti la mitigazione. delle temperature non ha portato grandi variazioni fatta eccezione per l'inserimento di aree verdi, infatti, se si va a vedere quali sono le sostanziali differenze dell'inserimento di queste soluzioni si nota come l'integrazione. Di coperture verdi non ha portato grandi miglioramenti al contrario quasi insignificanti, infatti, rispetto al 2022 si è abbassata di 1,7°C; più significativo è l'intervento dell'inserimento delle aree verdi ove l'abbassamento delle temperature ha portato un abbassamento tale di 3°C rispetto al 2022.

Questi risultati hanno determinato come in conformità delle strategie quella considerevolmente più utile per migliorare i valori della Tmrt e ridurre il fenomeno delle UHI è decisamente l'integrazione di verde a livello del suolo e non nelle coperture, d'altro canto in conformità ai valori ottenuti si nota come , si l'integrazione di aree verdi ha portato un miglioramento ma in

conformità alle caratteristiche morfologiche l'edificio non ha migliorato in maniera significativa le temperature di mitigazione, se per giunta paragonato ai valori di raffrescamento che si sono riscontrati nella Zona 4; di seguito ho voluto riportare una tabella riassuntiva con tutti i valori standard e con l'inserimento di soluzioni verdi della Tmrt degli edifici presi in esame per ciascuna zona:

RISULTATI VALORI TMRT STATO DI FATTO E VARIANTI (C°)			
Zone	Tmrt (01/08/2022)	Tmrt (coperture verdi)	Tmrt (aree verdi)
Zona 1	59,41	57,75	57,67
Zona 2	59,37	57,16	57,67
Zona 3	59,98	57,31	57,68
Zona 4	55,32	52,89	49,76
Zona 5	55,76	46,63	51,9
Zona 6	59,23	57,53	56,12

Grafico dell'andamento variazioni della Tmrt per ciascun edificio



Dalla seguente tabella riassuntiva mi è stato possibile redigere il seguente grafico conclusivo in cui si evidenziano i risultati finali inerenti questo studio che riguarda la Tmrt e di come integrando delle varianti sostenibili sia possibile mitigare questo fenomeno ed inoltre possa generare delle variazioni per la quale si possa individuare la soluzione più efficace in conformità alle diverse tipologie di suolo e morfologia urbana; per questo andando a visualizzare i risultati della tabella in generale dimostrano come già dimostrato in molteplici casistiche le varianti applicate hanno portato vantaggi o meno in relazione al tessuto urbano e ha dimostrato come la mitigazione delle UHI ed un miglioramento degli standard di confort termico sono relativamente correlati alla morfologia delle zone prese in esame, e dunque anche alle caratteristiche degli edifici da cui abbiamo svolto questo studio; infatti in relazione agli interventi svolti nella tabella si denota come si possono suddividere in due gruppi in relazione alla strategia scelta e quindi anche in base agli aspetti morfologici che si riscontrano nelle singole zone e di conseguenza la strategia che per l'edificio scelto gli possa portare dei benefici di confort e raffrescamento della temperatura dell'aria, per questo troviamo come per quanto riguarda gli interventi ove sono stati integrati negli edifici delle coperture verdi per la quale ha portato maggiori vantaggi sono individuati nelle Zone 2, 3 e soprattutto la Zona 5 ove troviamo la temperatura di mitigazione che ha portato valori migliori rispetto alle altre zone abbassandosi a  $46,63^{\circ}\text{C}$  rispetto alle Zone 2, 3 che troviamo un abbassamento tale di  $57,13^{\circ}\text{C}$  per la zona 2 e di  $57,31^{\circ}\text{C}$  per la zona 3 che come abbiamo già visto non costituiscono dei valori della Tmrt sufficienti per poter essere considerati come una vera e propria mitigazione, infatti a conferma di ciò se andiamo ad osservare il grafico si riscontra come. Non vi sia nessuna significativa differenza tra i valori ottenuti dagli edifici della Zona 2 e 3 se paragonati all'azione di mitigazione della copertura verde applicata all'edificio della zona 5. Si delinea però che l'aspetto che differenzia l'edificio della Zona 5 rispetto a quelli delle Zone 2 e 3 sono fondamentalmente le caratteristiche architettoniche che li differenzia l'uno dall'altro anche in relazione ai materiali che li compongono; infatti, come abbiamo visto la Zona 5 presenta risultati migliori rispetto alle altre zone anche in relazione all'altezza del fabbricato molto più basso rispetto agli altri e quindi accumula molto meno calore rispetto agli altri, inoltre in relazione all'edificio della Zona 3 sono stati utilizzati materiali di rivestimento in lamiera che purtroppo presentano caratteristiche fisiche per la quale accumula valori significativi di calore che. portano ad innalzare drasticamente la temperatura superficiale dell'edificio e quindi rende molto più difficile a mitigazione. grazie a coperture verdi.

In fine il secondo gruppo presenta caratteristiche per la quale l'integrazione di aree verdi ha portato benefici significativi rispetto agli edifici selezionati all'interno delle Zone 1, 4 e 6 e come possiamo vedere dal grafico si nota che l'edificio che ne ha tratto più benefici è la zona 4 infatti si nota come presenti i valori più bassi di mitigazioni della Tmrt e come abbiamo visto vi è stato un abbassamento delle temperature superficiali tali che ha portato in media dai 59°C del 2022 ad un miglioramento di 49,76°C; anche in questo frangente si riscontra come il miglioramento dei valori è strettamente legato sia alle caratteristiche morfologiche della zona in cui è inserito l'edificio e inoltre agli aspetti architettonici del fabbricato.

Entrando nel dettaglio di questa considerazione si può fare un distinguo fra gli aspetti che differenziano tra una zona e l'altra infatti i caratteri per la quale la mitigazione sia nettamente inferiore nelle Zone 1, 3 sia nettamente inferiore rispetto alla Zona 5 è strettamente legata, come lo studio dell'inserimento delle coperture verdi, all'altezza dei fabbricati presi in esame ma soprattutto quale sia la percentuale di verde presente nelle singole zone, infatti si nota come gli stessi risultati dei grafici evidenziano valori più alti per le Zone 2 e 3 ove si riscontrano presenza molto limitata di verde o comunque non presenta valori sufficienti per mitigare il fenomeno delle UHI nell'edificio a causa di un contesto con densità edificatoria troppo elevata; al contrario la Zona 5 come abbiamo già visto individua l'edificio preso in esame in una zona ove vi è una vasta e rigogliosa vegetazione urbana che ha portato risultati significativi per mitigare le UHI ma anche per migliorare il confort termico del fabbricato.



## 12 CONCLUSIONE

Andando a trarre le considerazioni finali inerenti la mia tesi aver potuto studiare ed approfondire il fenomeno delle UHI nel tessuto urbano della città metropolitana di Torino mi ha permesso di approfondire questo fenomeno durante i periodi estivi, durante lo svolgimento di questa fase preliminare è stato possibile individuare, grazie a diversi fattori, quelle determinate aree nel territorio Piemontese per cui vi sono presenti fenomeni di UHI inoltre questo genere di studio l'ho considerato come fase introduttiva per suddividere le sezioni di censimento di Torino tra quelle ove vi sono valori drammatici di UHI e quelle dove non vi sono, inoltre questa fase preliminare, grazie all'utilizzo del software Quantum GIS, mi ha permesso di individuare quei fattori per cui sono la causa fondamentale nell'incrementare il fenomeno delle UHI, infatti tra questi ho trovato come l'albedo e la LST mi hanno permesso di fare questa distinzione individuando ed addirittura confermandomi quali sono le zone per cui dare più attenzione; dai risultati ottenuti dall'albedo e dalla LST le aree ove le UHI hanno densità più elevata sono individuabili nel tessuto urbano di Torino, d'altro canto, come ho già osservato, nelle zone limitrofe è più difficile individuare quelle zone o comunque un epicentro da cui si sviluppasse questo fenomeno, e nello specifico posso confermare come è più evidente individuare le zone. ove si riscontrano le. UHI rispetto alle zone. urbane ove i valori delle temperature sono discontinui.

Questo aspetto è riconducibile alla contrapposizione tra zone naturali e quelle edificate che per le caratteristiche e proprietà che li identificano mi ha portato a non considerare queste zone per i miei studi ed approfondire le zone all'interno della città di Torino e quindi il tessuto maggiormente urbanizzato con bassi livelli di verde per cui i risultati ottenuti sia dall'Albedo che dalla LST mi ha permesso di individuare le zone ove la LST presenta valori ben oltre i 36°C ed un albedo urbano influenzato dalle caratteristiche morfologiche della città che considero un fattore fondamentale per incrementare il fenomeno delle UHI, infatti si nota come la gran parte dei valori del albedo rientrano nei parametri dei materiali scuri (coperture, strade e superfici) di 0,27 rispetto a superfici chiare e verde urbano molto meno presenti anche in conformità alle caratteristiche della città di Torino; d'altro canto questa prima analisi mi ha portato a considerare questo studio solo come una fase di analisi iniziale infatti una criticità che. si riscontra in queste prime cartografie tematiche è che fungono da immagini di sintesi a. causa del territorio troppo vasto che le cartografie. Individuano e possono essere sfruttate univocamente per andare a svolgere degli studi su una scala territoriale più vasta e quindi di sintesi e ho ritenuto utili per avere un quadro generale della città di Torino ove le UHI fossero più frequenti ed intense e per

cui porre studi più approfonditi; inoltre in conformità dello studio dell'intensità delle UHI si è rivelato decisamente più utile l'utilizzo dei risultati ottenuti dalla LST in conformità di incrociare i valori della temperatura dell'aria delle stazioni meteo presenti nella città.

Infatti, sia la LST che i valori della temperatura dell'aria mi hanno dimostrato come rappresentano dei valori fondamentali per determinare quali sia l'intensità delle UHI, visto che per poter calcolare gli indici di intensità principali, ovvero il Q3 e la SUHI è stato considerato sia la temperatura dell'aria che quella della LST permettendomi di individuare quelle aree urbane per cui vi sono valori particolarmente drammatici individuati nello specifico nelle zone confinanti del centro della città e nella periferia a sud di Torino nel quartiere industriale di Mirafiori; per svolgere questo calcolo ho constatato come per avere un'idea chiara e dettagliata dell'intensità dell'UHI deve essere presente una rete numerosa di stazioni meteo per poter individuare nella maniera più precisa e dettagliata possibile ove il fenomeno delle UHI è più intenso ciò mi ha permesso di comprendere, già da un primo approccio, che il tessuto urbano di Torino rappresenta una causa fondamentale che alimenta questo fenomeno; Torino ha evidenziato però una rete urbana di stazioni meteo molto numerosa, ma d'altro canto non tutte queste si sono rivelate utili per i miei studi, infatti, su 15 presenti solo 7 si sono rivelate adeguate per poter svolgere dei calcoli inerenti all'intensità e che alla fine ha portato risultati che non danno un'idea dettagliata di quale siano i valori specifici della UHI nella città di Torino, inoltre anche il posizionamento delle stazioni meteo non aiuta anche. In conformità del fatto che alcune delle stazioni sono posizionate troppo vicino all'altro mi ha portato in fine ad avere valori simili per la stessa area, inoltre vi sono zone urbane della città dove non è possibile avere risultati delle UHI e non è possibile avere un quadro completo dei valori di tutto il territorio a meno che non si riprendano le cartografie inerenti all'albedo e la LST.

D'altro canto, si riscontra come dai risultati ottenuti dell'indice di intensità delle UHI, nonostante il numero ridotto di stazioni meteo, mi ha permesso di avere i primi dati con dei valori considerevolmente utili per cui identificare dei dati concreti sul fenomeno delle UHI e che confrontandoli con i dati ottenuti da Quantum GIS e le immagini satellitari mi hanno permesso di definire delle prime motivazioni o fattori per la quale vi siano degli sbalzi di temperature rispetto alle zone suburbane; infatti come ho già osservato è chiaro come i valori delle stazioni meteo dell'Università di Fisica e quello della stazione di Inrim delineano come siano quelli con i valori più alti anche in conformità della stazione di riferimento suburbana, e come più volte motivato, è legato alle caratteristiche morfologiche presenti; nello specifico i risultati mi hanno indirizzato su due tipologie di tessuto urbano per la quale si individuano due tipologie di zone ovvero: tessuti urbani ove si riscontra un'alta densità edificatoria da una parte e aree prettamente industriali per la quale si individuano pavimentazioni cementate e fabbricati di destinazione industriale.

Questa considerazione sui fattori di intensità delle UHI sono una delle basi fondamentali per porre dei passi avanti per gli step successivi della mia analisi, infatti nonostante il sistema di stazioni meteo urbani di Torino non siano disposti in maniera tale di avere una copertura totale dell'intera area è chiaro come mi abbia permesso almeno di individuare la gran parte delle zone per cui verranno usate come zone di riferimento per i miei studi successivi più puntuali e specifici sulle UHI.

Per individuare le altre zone ho dovuto confrontare i risultati della LST e dell'albedo rispetto alle immagini satellitari e quindi in relazione alla morfologia urbana ed ai valori rilasciati di LST e albedo è stato possibile restringere le aree della città di Torino individuabili come casi studio, tenendo conto di fattori per cui individuare zone della città di Torino ove fossero presenti materiali scuri, livelli alti di LST, di cui questi di cui quest'ultima se messa a confronto ad alta densità urbana ne ho sempre riscontrato livelli alti di LST; ma d'altro canto in relazione a questi primi studi ho trovato come. La LST e l'albedo per quanto fondamentali non sono stati sufficienti per poter individuare le zone caso studio anche perché ho ritenuto fondamentale individuare anche il livello di densità edificatoria e copertura del suolo di Torino grazie alla BD e BCR, visto il legame. Che c'è tra gli indicatori urbani e climatici.

Infatti, la selezione delle Zone caso studio non è solo legata alla LST ed all'albedo ma anche alle caratteristiche morfologiche, infatti, si riscontra come le zone. caso studio prese in esame si possono distinguere in due macrocategorie suddividibili in zone ad alta densità edificatoria e aree ove vi è una copertura del suolo per la quale vi siano zone asfaltate o altre tipologie come i materiali scuri; infatti, a confermare la mia considerazione. Del legame tra indici urbani e climatici è stata la sovrapposizione delle cartografie dell'albedo e della LST con gli indicatori BD e BCR ove si riscontra che le sezioni di censimento ove si riscontrano i valori più alti di LST e albedo combaciano con quelli della BCR e BD e per questo conferma a quanto detto in precedenza e quindi questi indicatori vengono influenzati negativamente nel formare le UHI anche causa dei valori alti di densità e copertura urbana; un esempio concreto a confermare la mia affermazione è nella Zona 1 ove si riscontra come vi siano valori della BD di 0,72 e della BCR di 12,81 ne ha derivato valori significativamente elevati di LST estiva di 32°C nel 2021 e di 36°C nel 2022.

Inoltre, un altro aspetto negativo che si riscontra in tutte le mie analisi è che il legame tra il fenomeno delle UHI rispetto alla morfologia urbana della città in relazione ai due periodi di riferimento estivi del 2021 e del 2022 ha portato a criticità in relazione alle diverse zone urbane della città, ovvero ad un incremento degli standard dei valori presi in esame; andando a fare un sunto di questi singoli parametri calcolati per le sei zone di riferimento si riscontra come ne per la LST ne per l'albedo vi siano valori generali per cui vi è stata una mitigazione dal 2021 al 2022 anzi al contrario vi è un peggioramento di questi, al contrario per trovarne di positivi bisogna

andare ad osservare le singole sezioni di censimento di censimento, infatti se osserviamo l'albedo i valori positivi che vanno da 0 a 9,8% sono legati a zone ove si trovano aree verdi ma da quello che ho riscontrato dalle sei zone è che, escludendo la Zona 4, queste aree verdi sono inquadrare in punti specifici ed in una percentuale totale di copertura che non va oltre al 3% del suolo totale delle sei area e a confermare ciò vi è il valore della NDVI che per le sei zone altrettanto basso e non supera i 0,1

Anche per quanto riguarda la LST si riscontra come la stessa problematica legata al contesto urbano l'ho trovato nel calcolo della UTFVI in conformità di una vasta ed intricata integrazione di punti di interesse che è andato a confermare quanto detto inerente all'incremento e di conseguenza il peggioramento del clima in conformità al tessuto urbano che quindi ha influenzato in maniera significativa l'andamento del clima annuo e i valori della LST, inoltre è evidente come le UHI sono fortemente influenzate dalle zone ove l'andamento della LST è particolarmente elevato per cui in relazione al calcolo dell'UTFVI ho dimostrato che ha portato un incremento nel 2022 di questi indici; infatti posso dimostrare dalle cartografie e dai risultati ottenuti, in conformità ai standard prefissati dalla normativa, come è chiaro che le zone ove vi sono presenti edificati e percentuali bassi di aree verdi sono quelle per cui si riscontrano livelli più bassi di UHI o livelli normali e sono individuati nelle zone come la 1, 4 e 5 ove mi ha permesso determinare come si possono individuare una vera e propria mitigazione di queste aree, inoltre, anche le zone come la 1 e la 5 mi ha fatto individuare fattori comuni per cui ove sono presenti fenomeni di canyon urbani si riscontra valori più bassi della LST e quindi ne deriva che in conformità delle caratteristiche morfologiche dove più stretta è la strada e gli edifici sono a ridosso, maggiore è la possibilità che i valori di LST e di conseguenza UTFVI siano ridotti.

Da questo è stato possibile determinare come questo fattore risulta più efficace per quantificare il fenomeno delle UHI e per cui evidenzia come in relazione all'incremento dei valori di densità in conformità ad un determinato orientamento ha portato non solo a valori significativi delle UTFVI ma inoltre a peggiorare il fenomeno delle Isole di calore in maniera tale che potesse dimostrare come maggiori sono i livelli di densità e di coperta da edifici ne ha portato ad un incremento maggiore di questo fenomeno, rispetto ad aree ove la densità è relativamente inferiori e quindi in relazione ai punti di interesse posizionati in zone, ha comportato una riduzione dei valori della UHI anziché aumentare, nonostante questi valori di base nel periodo di riferimento del 2021 siano relativamente alti.

Al contrario si nota come i valori delle UHI in relazione ai valori ottenuti dal MOS e di conseguenza aree ove l'esposizione est-ovest sia molto più influente rispetto alla densità ha portato si a un incremento di questo fenomeno ma di portata relativamente inferiore a zone ove l'esposizione sia differente, questo aspetto di conseguenza ha portato ad un incremento significativo anche

per quanto riguarda altri fattori come. la temperatura media radiante e lo stress generato da comfort termico infatti questo aspetto come. abbiamo visto influisce in maniera proporzionale a quanto è stata quantificato il valore delle UHI, infatti in relazione ai fattori che influiscono su di esso si nota come la relazione con il comfort termico sia per il PET che per l'UTCI presentano valori di stress termico ridotti in relazione alla minore densità edilizia e da ciò si nota come i valori molto bassi di UHI legati alla LST e alla temperatura media radiante è legata a queste aree bassa densità edilizia ove al posto di fabbricati edilizi sono stati sostituiti da aree verdi o parchi

Da ciò ne derivato come il confronto fatto delle morfologie delle Zone 1 e la 5 in relazione ai risultati della UTCI ha confermato la mia affermazione precedente inerente i risultati di questo calcolo e per cui i valori della Zona 5 siano relativamente più bassi rispetto a quelli della Zona 1, d'altro canto se andiamo a confrontare entrambi i risultati ottenuti in entrambi i periodi di riferimento del 2021 e del 2022 si riscontra anche per queste casistiche vi sia stato un drastico peggioramento dei valori generali in conformità dei punti di interesse; d'altro canto nonostante il seguente studio sia basato sullo strutturare un sistema che individua diversi punti di interesse per avere un quadro dettagliato dei livelli di dannosità della UHI ed ottenere un valore medio generale dell'indice UTCI, ha dimostrato come l'utilizzo di questa metodologia molto precisa e puntuale non solo ha permesso di individuare i fattori per cui vi sia la necessità di intervenire per poter quindi quantificare e motivare i valori delle UHI ma anche porre le basi di un possibile soluzione a questa problematiche, che. come abbiamo visto per vari fattori è ricaduta su soluzioni verdi come coperture vegetali e aree verdi.

Dunque, andando a integrare questa tipologia di soluzione, ovvero coperture vegetali e aree verdi, mi ha permesso di svolgere dunque delle considerazioni più approfondite inerenti al fenomeno delle UHI e come la sua intensità mitigata in relazione al comportamento di queste soluzioni rispetto ai diversi fattori urbani come il MOS, la BD, BCR e H/W mi ha fatto concludere come la volontà di integrare del verde urbano sia al livello del suolo che nelle coperture è stato motivato anche da questi fattori che abbiamo visto influenzano sulle UHI delle singole zone caso studio; inoltre in conformità di ciò ho riscontrato che queste tipologie presentano caratteristiche relativamente differenti l'una dall'altre e per giunta se si prende in esame i valori delle coperture verdi si sono rivelate, in relazione ai valori degli indici di comfort e della UTFVI una soluzione relativamente più ottimale per questo studio ed in relazione alla percentuali di queste superfici integrate i queste zone si sono rivelate inferiori per poter vedere dei risultati positivi di mitigazione di questo fenomeno, d'altro canto in relazione ai calcoli svolti è stato dimostrato come. la percentuale minima per cui l'andamento del stress termico si riduca in relazione all'aumento della temperatura deve essere almeno del 15% infatti questo fattore si è rivelato efficace per 5 zone su 6 di cui mi sono occupato.

Al contrario molto meno efficace si è rivelata la soluzione per cui era previsto l'inserimento di soluzioni verdi al livello di suolo che, nella gran parte dei casi che si sono rivelate efficaci, ovvero il 50% delle zone prese in esame, hanno riscontrato come o presentavano spiazzi predisposti già all'inserimento di verde o erano già parchi o aree verdi ove è stato integrato del verde, ma rispetto alle coperture per quanto riguarda le aree verdi la percentuale di verde al suolo da integrare risulta relativamente troppo alta e dunque in relazione agli studi fatti fino ad ora posso affermare come per avere dei valori utili sia necessario un'integrazione di verde superiore al 40% rispetto all'intera area presa in esame; tale aspetto risulta irrealizzabile dato il fatto che queste zone risultano per la gran parte con livelli di densità molto alta e quindi impossibile integrare livelli così alti di verde, inoltre in relazione ai risultati anche se il verde urbano è relativamente alto i risultati di mitigazione delle UHI si è dimostrato molto basso o comunque si è rivelato circoscritto in maniera ristretta all'area di intervento.

In conclusione, lo studio da me svolto ha dimostrato come in relazione al fenomeno delle UHI legato ai diversi fattori urbani, che influenzano in maniera più o meno critica nelle diverse zone che ho analizzato e per cui mi ha permesso di individuare, grazie al calcolo delle UTFVI, delle soluzioni che hanno reso possibile quantificare e identificare il valore minimo per cui le superfici verdi in conformità alla percentuale minima inferiore a quella delle aree verdi mi ha portato a ritenerle la soluzione più efficace per la mitigazione delle UHI rispetto all'integrazione di soluzioni verdi al livello del suolo, anzi ritengo che per l'efficacia che ha dimostrato, le coperture verdi possano essere utilizzate per eventuali studi futuri per cui possano essere utilizzate come oggetto di mitigazione o comunque essere integrate assieme ad aree verdi/ parchi per migliorare e mitigare le UHI e gli standard di stress termico ma non solo anche assieme ad altre tipologie di soluzioni sostenibili come superfici chiare favorendo dunque favorire un miglioramento del comfort termico e di conseguenza un benessere termico e igrometrico dell'essere umano.

## 13 BIBLIOGRAFIA

- G. Mutani, V. Todeschi (2021), *Roof-Integrated Green Technologies, Energy Saving and Outdoor Thermal Comfort: Insights from a Case Study in Urban Environment*, IIETA
- V. Todeschi, S. Beltramino, B. El Jamous, G. Mutani (2021), *Low Energy Architecture for Sustainable Neighborhoods*, IIETA.
- V. Todeschi, S. Beltramino, G. Mutani (2021), *Energy Consumption Models at Urban Scale to Measure Energy Resilience*, MDPI.
- V. Todeschi, G. Mutani (2020), *The Effects of Green Roofs on Outdoor Thermal Comfort, Urban Heat Island Mitigation and Energy Savings*, MDPI
- M. Ravina, A. Facelli, M. Zanetti (2020), *Halocarbon Emission from Hazardous Waste Landfills: Analysis of Sources and Risks*, MDPI.
- Zabianotou, K. Stamou (2020), *Recent advancements in the use of biochar for cementitious applications*, ELSEVIER.
- M. Bo, P. Salizzoni, F. Pognant, R. Mezzalama, M. Clerico (2020), *A combined citizen science-modelling approach for NO<sub>2</sub> assessment in Torino urban agglomeration*, Politecnico di Torino.
- M. Aldabash, F. B. Balcik, P. Glantz (2020), *Validation of MODIS c6.1 and MERRA-2 AOD Using AERONET Observation: A Comparative Study over Turkey*, MDPI.
- F. Murena (2020), *Sustainable Development of the Historic Centre of Naples: The Impact of Vehicular Traffic and Food Service Business on Air Quality*, MDPI.
- R. Buccolieri, E. Gatto, M. Manisco, F. Ippolito, J. L. Santiago, Z. Gao (2020), *Characterization of Urban Greening in a District of Lecce (Southern Italy) for the Analysis of CO<sub>2</sub> Storage and Air Pollutant Dispersion*, MDPI.
- S. Di Sabatino, F. Barbano, E. Brattich, B. Pulvirenti (2020), *The Multiple-Scale Nature of Urban Heat Island and Its Footprint on Air Quality in Real Urban Environment*, MDPI
- G. Fatturoso, M. Nocerino, D. Toscano, L. Pariota, G. Sorrentino, V. Manna, S. De Vito, A. Carteni, M. Fabbricino, G. di Francia (2020), *Site Suitability Analysis for Low Cost Sensor Network for Urban Spatially Dense Air Pollution Monitoring*, MDPI.
- L. F. Girard, F. Nocca (2020), *Climate Change and Health Impacts in Urban Areas: Towards Hybrid Evaluation Tools for New Governance*, MDPI.
- F. Murena, P. Salizzoni (2021), *Air Quality and Sustainable Development of Urban Agglomerations in the Mediterranean Area*, MDPI.

- N. Touati, T. Gardes, J. Hidalgo (2020), *A GIS plugin to model the near surface air temperature from urban meteorological networks*, Reaserchgate.
- Estacio, J. Badaan, N. J. Pecson, A. Blanco, J. E. Escoto, C. K. Alcantara (2019), *GIS-based mapping of local climate zones using Fuzzy Logic and cellular automata*, The International Archives of the Photogrammetry PhilGEOS x GeoAdvances ,Manila, Philippines.
- Rahul, M. Mukherjee (2020), *Investigating the Impact of Urban Morphology on Urban Heat Island Effect in Subtropical Humid Climate Through Remote Sense Data*, Edita Bandrova T., Konečný M., Marinova S.
- Favretto (2018), *Analisi di isole di calore urbane con telerilevamento in ambiente GIS: un'applicazione nella provincia di trieste*, Bollettino della Società Geografica Italiana.
- Y. Zhang, D. Li, L. Liu, Z. Liang, J. Shen, F. Wei, S. Li (2021), *Spatiotemporal Characteristics of the Surface Urban Heat Island and Its Driving Factors Based on Local Climate Zones and Population in Beijing, China*, MDPI.
- J. E. Escoto, A. Blanco, A. Baloloy, R. R. C. S. Ana (2021), *Geospatial Assessment and Modelling of Urban Heat Island in Quezon City, Philippines Using OLS and Geographically Weighted Regression*, research.ate.net.
- R. Wang, C. Ren, Y. Xu, K. K. Lau, Y. Shi (2018), *Mapping the Local Climate Zones of Urban Areas by GIS-based and WUDAPT Method: A Case Study of Hong Kong*, ELSEVIER.
- S. W. Kim, R. D. Brown (2021), *Urban heat island (UHI) intensity and magnitude estimations: A systematic literature review*, ELSEVIER.
- M. E. Gonzalez-Trevizo, K. E. Martinez-Torres, J. F. Armendariz-Lopez, M. Santamouris, G. Bojorquez-Morales, A. Luna-Leon (2021), *Research trends of environmental, energy and vulnerability impacts of Urban Heat Island: An overview*, ELSEVIER.
- Halder, J. Bandyopadhyay, P. Banik (2021), *Evaluation of the Climate Change Impact on Urban Heat Island Based on Land Surface Temperature and Geospatial Indicators*, Springer Link.
- N. Touati, T. Gardes, J. Hidalgo (2020), *Urban heat island intensity maps and local weather types description for a 45 French urban agglomerations dataset obtained from atmospheric numerical simulations*, ELSEVIER.
- D. H. Garcia, J. A. Diaz (2021), *Modeling of the Urban Heat Island on local climatic zones of city using Sentinel 3 images: Urban determining factors*, ELSEVIER.
- C. Marcel, J. Villot (2020), *Urban Heat Island index based on a simplified micro scale model*, Science direct.

- S. Ghosh, M. Deshmukh (2022), *Air Pollution, Climate Changes, and Human Health in Indian Cities: A Brief Review*, frontiers | Sustainable Cities.
- S. Liang (2000), *Narrowband to broadband conversions of land surface albedo, I. Algorithms*, ELSEVIER.
- S. Liang, C. J. Shuey, A. L. Russ, H. Fang, M. Chen, C. L. Walthall, C. S. T. Daughtry, R. Hunt Jr (2002), *Narrowband to broadband conversions of land surface albedo, II. Validation*, ELSEVIER

## 14 SITOGRAFIA

Aggiornata al 29 Agosto 2023

<<https://www.qgis.org/it/site/>>

<<https://umep-docs.readthedocs.io/en/latest/>>

<<https://earthexplorer.usgs.gov>>

<<https://worldview.earthdata.nasa.gov>>

<[https://www.arp.piemonte.it/rischinaturali/accesso-ai-dati/annali\\_meteoidrologici/annali->meteo-idro/banca-dati-meteorologica.html](https://www.arp.piemonte.it/rischinaturali/accesso-ai-dati/annali_meteoidrologici/annali->meteo-idro/banca-dati-meteorologica.html)>

< <https://www.geoportale.piemonte.it/cms/> >

< <http://geoportale.comune.torino.it/web/> >

< <http://dati.istat.it> >

<<http://dati-censimentipermanenti.istat.it>>

<<http://www.lartu.polito.it/cartografia>>

<<https://smartgreenbuilding.polito.it/monitoraggio/>>

<<http://www.meteo.dfg.unito.it/principali>>

<<http://atti.asita.it/ASITA2019/Pdf/120.pdf>>

<<https://webthesis.biblio.polito.it/6709/1/tesi.pdf>>

<<https://land.copernicus.eu/global/products/sa>>

<<https://www.mdpi.com/2076-3298/8/10/105>>

<[https://earthobservatory.nasa.gov/global-maps/MOD\\_LSTD\\_M](https://earthobservatory.nasa.gov/global-maps/MOD_LSTD_M)>

<<https://climate.esa.int/en/projects/land-surface-temperature/>>

<<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-surface-temperature>>

<<https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/indicators/thermal-comfort-indices-mean-radiant-temperature-1979-2019>>

<[https://www.epfl.ch/labs/leso/wp-content/uploads/2018/05/carozza\\_marta.pdf](https://www.epfl.ch/labs/leso/wp-content/uploads/2018/05/carozza_marta.pdf)>  
<<https://www.mdpi.com/2075-5309/13/2/342>>  
<<https://link.springer.com/article/10.1007/s11676-020-01155-1>>  
<<https://coolroofs.org/resources/urban-heat-island-mitigation>>  
<[https://www.ingegneriadellambiente.net/vol5\\_n4/Faggian\\_IDA\\_4\\_2018.pdf](https://www.ingegneriadellambiente.net/vol5_n4/Faggian_IDA_4_2018.pdf)>  
<[https://www.researchgate.net/figure/Monthly-surface-urban-heat-island-intensity-SUHII-in-five-cities-averaged-over\\_fig5\\_351130798](https://www.researchgate.net/figure/Monthly-surface-urban-heat-island-intensity-SUHII-in-five-cities-averaged-over_fig5_351130798)>  
<[https://www.researchgate.net/figure/Surface-Urban-Heat-Island-Intensity-SUHII-in-Indian-cities-with-Seasonal-and-Diurnal\\_fig1\\_312374584](https://www.researchgate.net/figure/Surface-Urban-Heat-Island-Intensity-SUHII-in-Indian-cities-with-Seasonal-and-Diurnal_fig1_312374584)>  
<<https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/indicators/thermal-comfort-indices-universal-thermal-climate-index-1979-2019>>