

CANDIDATURA DEL COMUNE DI
CHIVASSO (TO) AL PREMIO
NAZIONALE “COMUNI VIRTUOSI”

ALLEGATO TECNICO



Sommario

INTRODUZIONE	3
1. VALUTAZIONE DEL RISCHIO TEMPERATURE ESTREME RISPETTO ALLA SALUTE A SCALA DI CITTA'	4
1.1 LA METODOLOGIA E LE PROCEDURE DI CALCOLO	4
1.1.1 Valutazione del pericolo	6
1.1.2 Valutazione dell'esposizione	6
1.1.3 Valutazione della vulnerabilità	8
1.1.4 Valutazione del rischio complessivo.....	10
2. ZONIZZAZIONE E IDENTIFICAZIONE DELLE AREE MICRO URBANE	11
2.1 VALUTAZIONE DEL RISCHIO NELLE MICRO AREE URBANE	11
3. VALUTAZIONE DEL RISCHIO TEMPERATURE ESTREME A SCALA MICRO URBANA	13
3.1 CRITERI PER LA VALUTAZIONE.....	13
3.1.1 Capacità delle superfici pavimentate di riflettere la radiazione solare	13
3.1.2 Capacità delle coperture di riflettere la radiazione solare	14
3.1.3 Riflessività zona urbana	16
3.1.3 Disponibilità aree verdi	18
3.1.5 Superfici pavimentate ombreggiate	18
3.1.6 Vista della volta celeste	20
3.2 ZONA G	22
3.2.1 Valutazione della vulnerabilità attuale.....	24
3.2.2 Vulnerabilità complessiva.....	33
3.2.3 Risultato della valutazione e interventi migliorativi	33
4. BIBLIOGRAFIA	37

INTRODUZIONE

Il presente documento descrive l'approccio metodologico sviluppato da iiSBE Italia R&D, nel contesto del Progetto Europeo ADAPTNOW (ASP0100048 – Progetto co-finanziato dall'Unione Europea) che ha visto nella sua concreta applicazione come caso studio pilota proprio il Comune di Chivasso (TO).

Si tratta di un approccio metodologico in grado di valutare il livello di rischio climatico di un qualsiasi territorio urbano, pertanto replicabile e esportabile anche ad altre realtà urbane. La metodologia sviluppata consente di elaborare mappe georeferenziate che mettono in luce le microzone urbane a maggiore vulnerabilità climatica, predisponendo specifiche misure di adattamento per prevenire e/o limitare i rischi legati ai cambiamenti climatici.

Il Comune di Chivasso è il primo comune ad aver adottato tale visione strategica, con l'obiettivo di introdurre nel PRGC misure di adattamento ai cambiamenti climatici adattando il territorio e preservando la salute dei suoi cittadini.

A seguire maggiori informazioni riguardanti le procedure di elaborazione delle mappe di esposizione, vulnerabilità e rischio ed un esempio pratico di applicazione della metodologia ad una microzona urbana di Chivasso, connotata da una elevata vulnerabilità climatica.

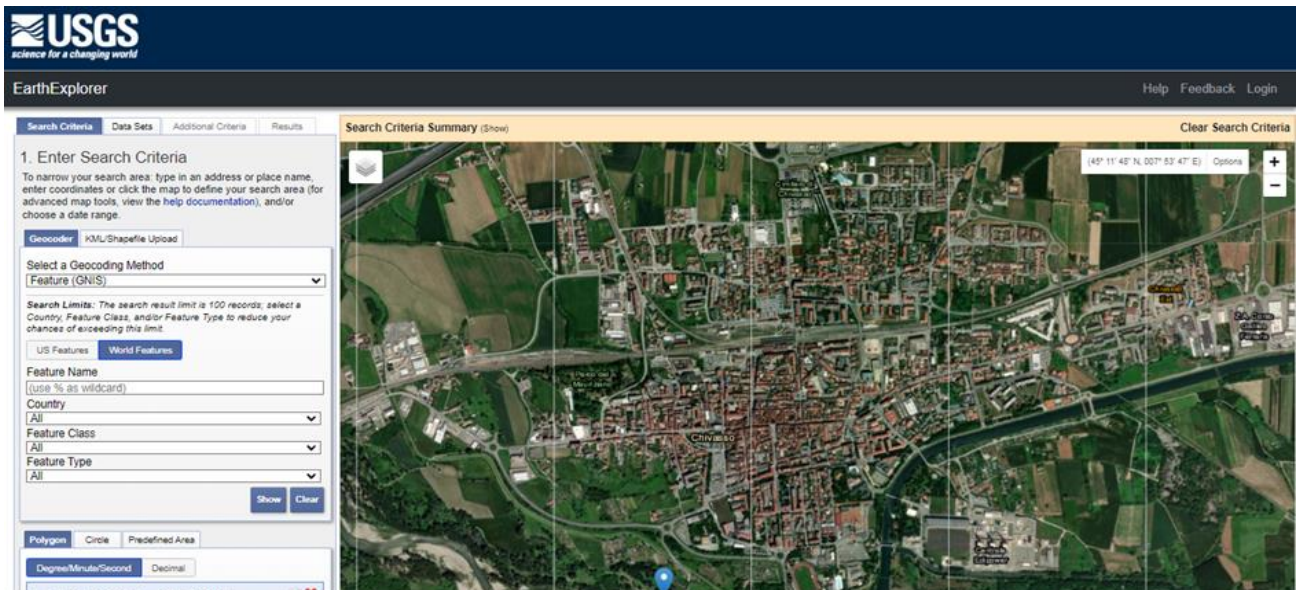
1. VALUTAZIONE DEL RISCHIO TEMPERATURE ESTREME RISPETTO ALLA SALUTE A SCALA DI CITTA'

1.1 LA METODOLOGIA E LE PROCEDURE DI CALCOLO

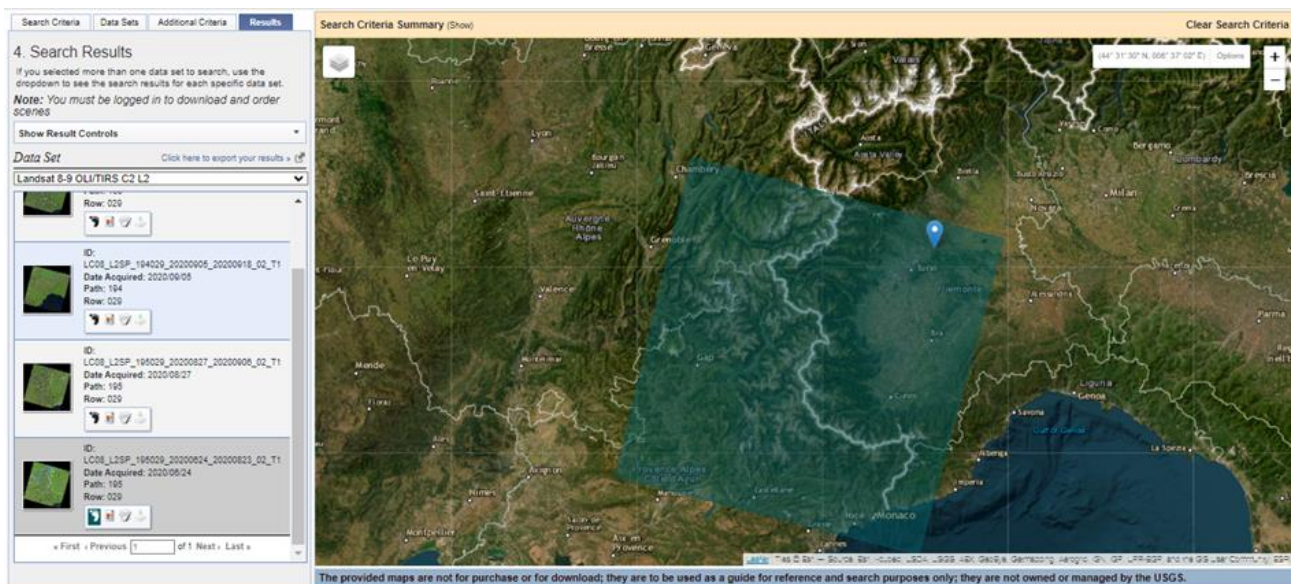


Per calcolare il rischio di effetto isola di calore nel Comune di Chivasso, diretta conseguenza delle temperature estreme, è stato utilizzato uno strumento GIS per elaborare immagini satellitari contenenti informazioni sulla temperatura e sullo stato della vegetazione di un'area selezionata.

Per la valutazione sono state utilizzate le immagini satellitari del Landsat-8 (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). L'immagine satellitare derivante dal Landsat 8 è formata da due componenti: l'*Operational Land Imager* (OLI) e il *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). Questi due sensori forniscono una copertura stagionale della massa continentale globale con una risoluzione spaziale di 30 metri.



Mapa satellitare di Chivasso presa dal portale ufficiale del Governo degli Stati Uniti



Landsat 8 - C2 L2, mappa satellitare in cui è ricompreso il Comune di Chivasso

Per la valutazione delle isole di calore sono state utilizzate la Banda 4, 5 e 10 o 11 dall'immagine satellitare Landsat 8 precedentemente scaricata.

L'acquisizione dei dati e delle planimetrie satellitari finora citate rappresenta il punto di partenza per l'elaborazione delle mappe di esposizione e vulnerabilità che hanno consentito di operare una valutazione complessiva del rischio temperature estreme nel Comune di Chivasso.

La formula che è stata utilizzata per valutare il rischio temperature estreme in riferimento alla salute deriva dal concetto di rischio introdotto nel sesto rapporto di valutazione del Gruppo intergovernativo di esperti sul cambiamento climatico (IPCC AR6).

Di seguito la formula che è stata utilizzata per valutare il rischio temperature estreme in riferimento alla salute per la città di Chivasso:

$$HV^{W_{HV}} \times EV^{W_{EV}} \times VV^{W_V}$$

Dove:

HV è il valore del PERICOLO

EV è il valore dell'ESPOSIZIONE

VV è il valore della VULNERABILITA'

W^{HV} è il peso associato a HV

W^{EV} è il peso associato a EV

W^V è il peso associato a VV

Esattamente come mostrato in precedenza, la mappa del rischio elaborata per la città di Chivasso prende contemporaneamente in considerazione tre fattori:

- Temperatura della superficie terrestre (LST: Land Surface Temperature)
- Permeabilità del suolo normalizzata (Corine Land Cover e Green Areas)
- Popolazione vulnerabile (pop < 10 anni e pop > 65 anni) come elemento esposto

Nei paragrafi successivi vengono descritte le diverse procedure utilizzate per l'ottenimento delle mappe necessarie all'elaborazione della valutazione di rischio.

1.1.1 Valutazione del pericolo

Per la valutazione del pericolo, è necessario assegnare un valore da 0 a 1 alla città di Chivasso a seconda della probabilità che l'evento si presenti nell'area (0 è una bassa probabilità che il pericolo si verifichi e 1 è un'alta probabilità che il pericolo si verifichi).

Per determinare questo valore, è fondamentale controllare i dati storici e le diverse piattaforme ambientali che valutano il rischio dei territori per diversi tipi di pericolosità naturali e climatiche, in questo caso, per le isole di calore. L'ideale sarebbe avere un PAESC redatto per l'area rispetto alla quale si intende valutare il pericolo. Il valore stabilito viene quindi sostituito nella formula del rischio.

Il livello di pericolo assegnato alla città di Chivasso è **pari a 0,8**.

Applicando la formula del rischio, per la componente di pericolo climatico sono stati definiti i seguenti parametri:

$$HV^{W_{HV}} \times EV^{W_{EV}} \times VV^{W_V}$$

Dove:

W^{HV} è il peso associato a HV ed è **pari a 0,25** per la città di Chivasso.

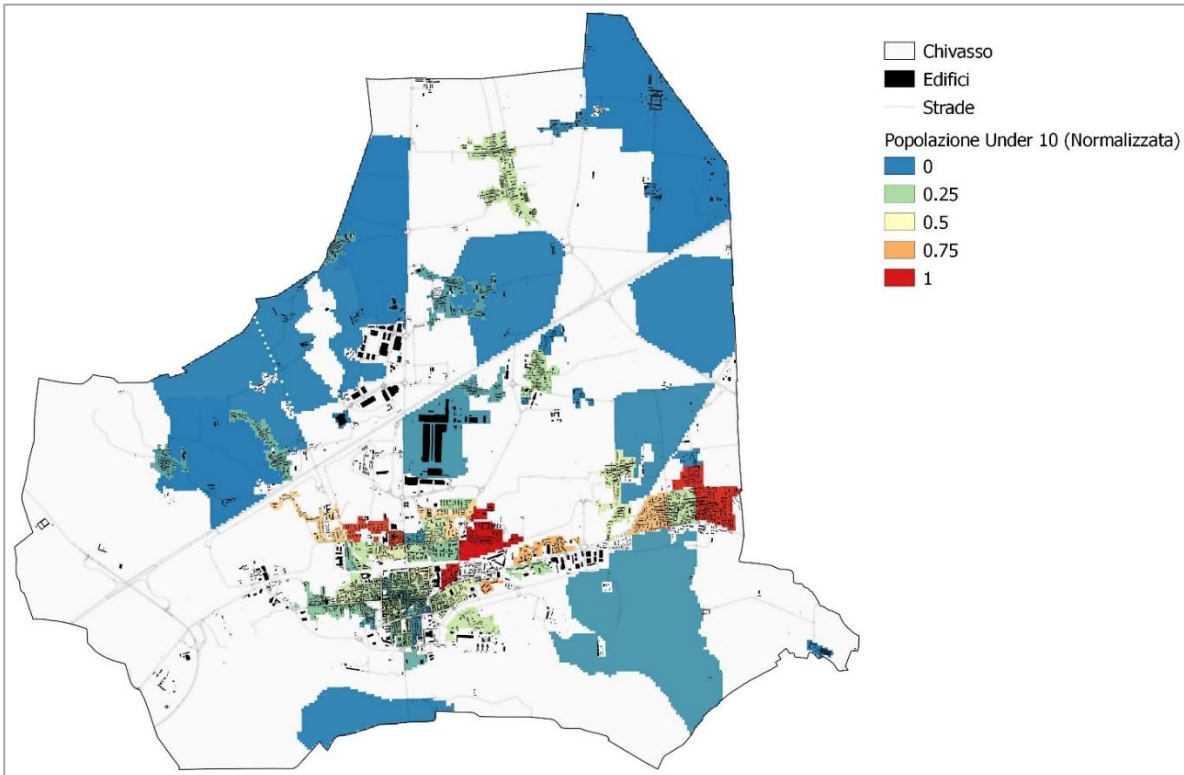
1.1.2 Valutazione dell'esposizione

La mappa dell'esposizione elaborata per la città di Chivasso prende contemporaneamente in considerazione i seguenti fattori:

- Popolazione vulnerabile al di sotto dei 10 anni
- Popolazione vulnerabile al di sopra dei 65 anni

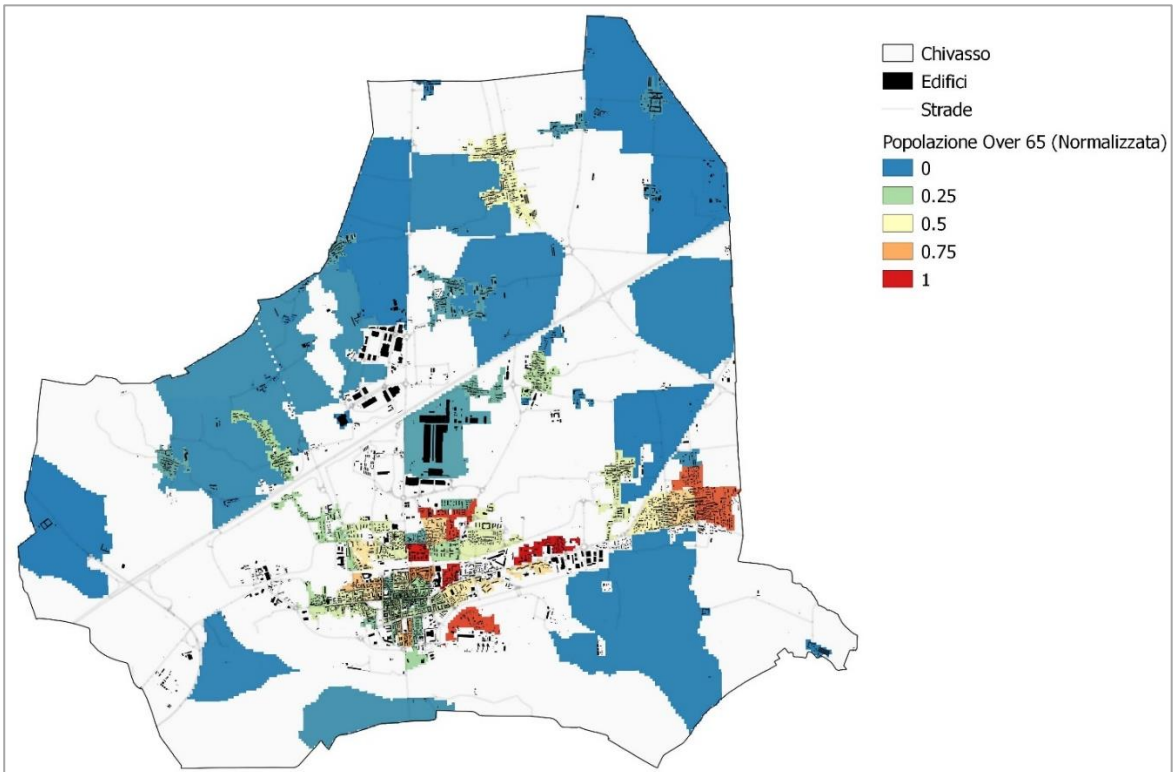
La rappresentazione grafica delle due variabili è stata elaborata in Qgis grazie all'utilizzo dei dati relativi alla popolazione vulnerabile, espressi per zona censuaria, contenuti in shapefile.

Per l'elaborazione della mappa relativa alla popolazione vulnerabile < 10 anni, è stato incrociato su Qgis lo shapefile relativo alla popolazione in oggetto con le diverse zone censuarie, generando la mappa che segue.



Mappa relativa alla distribuzione della popolazione < 10 anni per zona censuaria.

Per l'elaborazione della mappa relativa alla popolazione vulnerabile > 65 anni, è stato incrociato su Qgis lo shapefile relativo alla popolazione in oggetto con le diverse zone censuarie, generando la mappa che segue.



Mappa relativa alla distribuzione della popolazione > 65 anni per zona censuaria.

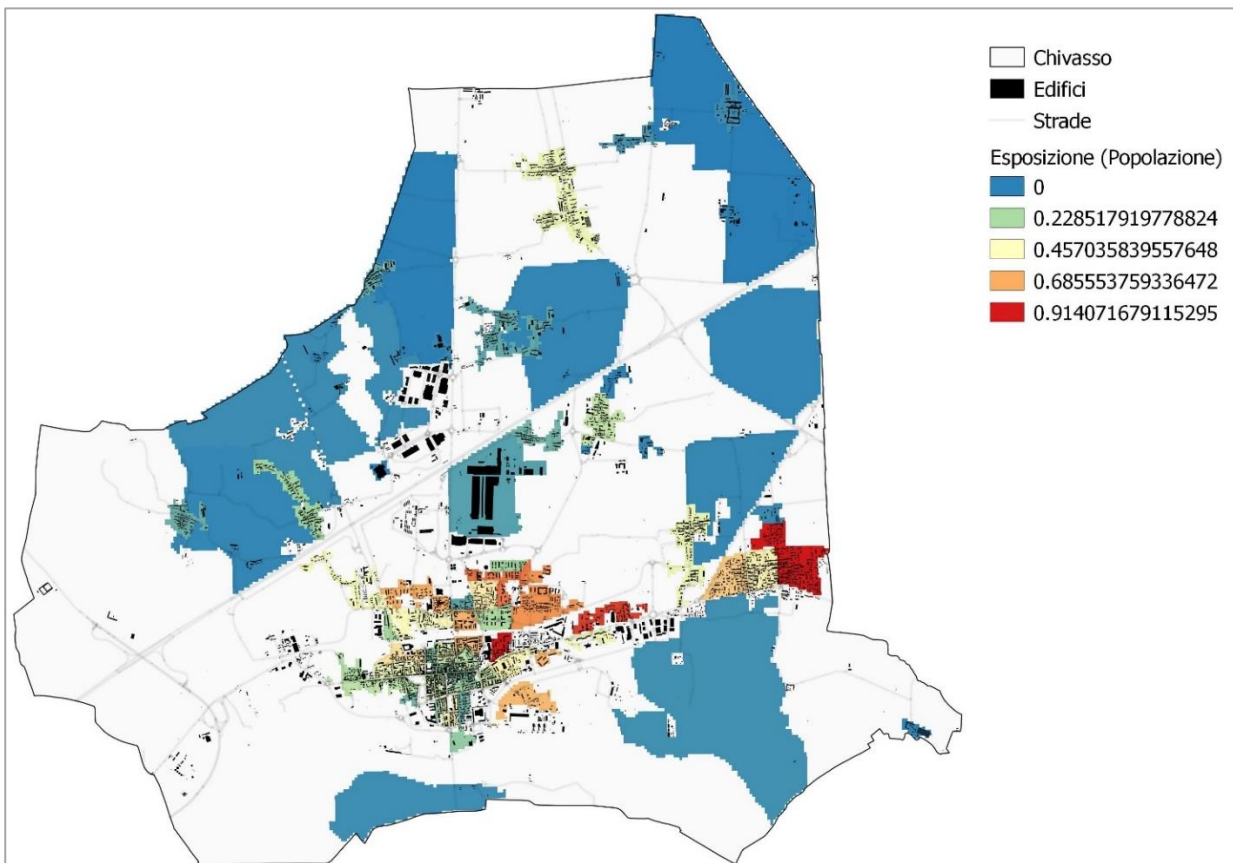
Nella formula del rischio, per la componente relativa all'esposizione (pop < 10 anni e pop > 65 anni) sono stati definiti i seguenti parametri:

$$HV^{W_{HV}} \times EV^{W_{EV}} \times VV^{W_V}$$

Dove:

W^{EV} è il peso associato a EV ed è **pari a 0,25** per la città di Chivasso.

La mappa che segue è la risultante dal calcolo effettuato.



Mappa dell'esposizione relativa alla città di Chivasso

1.1.3 Valutazione della vulnerabilità

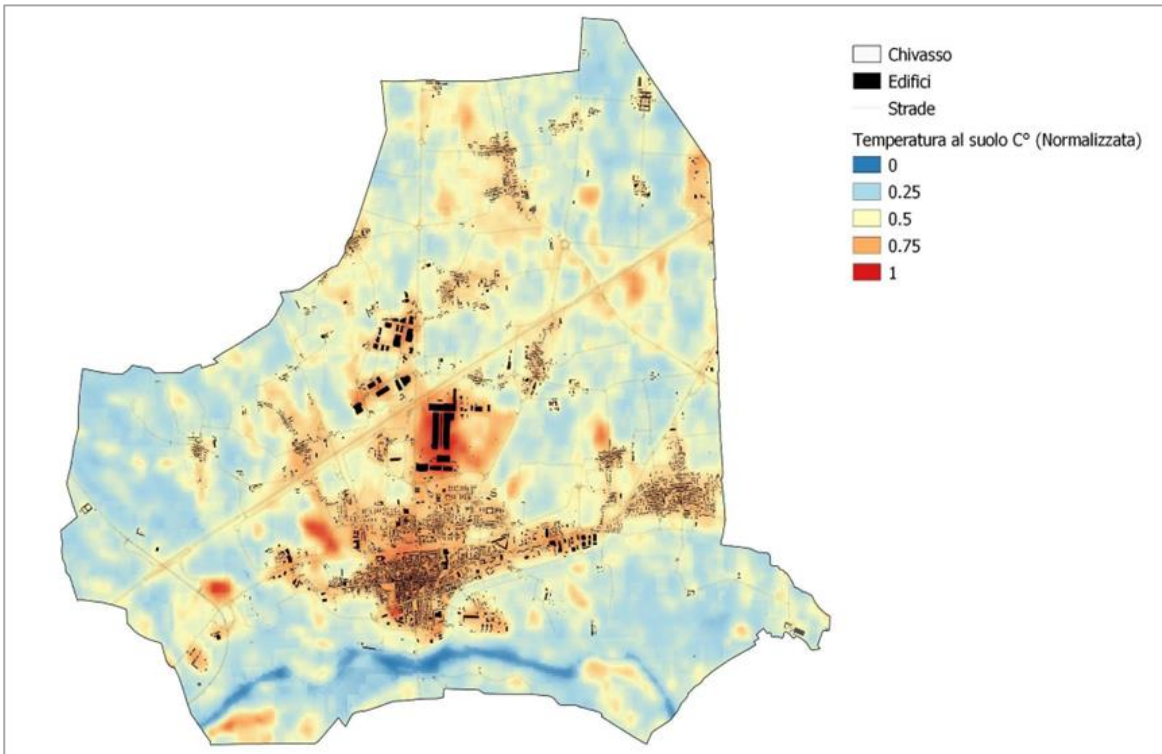
La mappa della vulnerabilità elaborata per la città di Chivasso prende contemporaneamente in considerazione i seguenti fattori:

- Temperatura della superficie terrestre (LST: Land Surface Temperature)
- Permeabilità del suolo normalizzata (Corine Land Cover e Green Areas)

A partire dallo strumento "raster calculator" in Qgis, i passaggi che hanno consentito di elaborare la mappa della temperatura della superficie terrestre (LST) sono stati i seguenti:

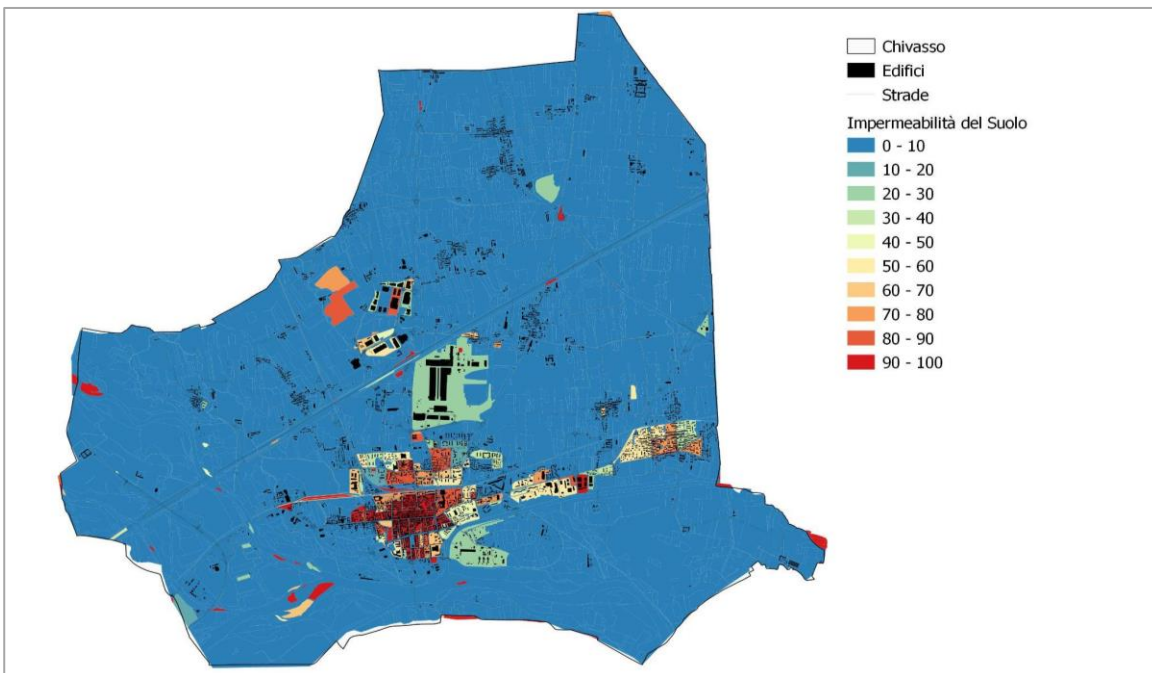
- I. Calcolare la **riflettanza TOA (Top Of Atmosphere) per le bande 4 e 5 separatamente**
- II. Calcolare la **temperatura di luminosità (brightness temperature) TOA per la banda 10**
- III. Calcolare l'**NDVI (Normalized Differential Vegetation Index)**
- IV. Calcolare una stima della **Proporzione di Vegetazione (PV)**
- V. Calcolare una stima dell'emissività della superficie terrestre
- VI. Calcolare una stima della temperatura della **superficie terrestre (LST)**

La procedura fin qui descritta permette di ottenere la mappa relativa alla temperatura della superficie terrestre (LST: Land Surface Temperature) per la città di Chivasso.



Mappa della temperatura superficiale (LST) al suolo relativa a Chivasso

Il secondo fattore da prendere in considerazione per elaborare la mappa della vulnerabilità è la permeabilità del suolo. Per procedere all'elaborazione della mappa è necessario caricare in Qgis contemporaneamente il Corine Land cover file, lo shapefile delle aree verdi della città di Chivasso e le zone censuarie. Le zone censuarie a loro volta riportano le porzioni di terreno permeabile e impermeabile; sottraendo da quest'ultime la quota di terreno permeabile, si ottiene la mappa dell'impermeabilità della zona, come segue.



Mappa dell'impermeabilità relativa a Chivasso

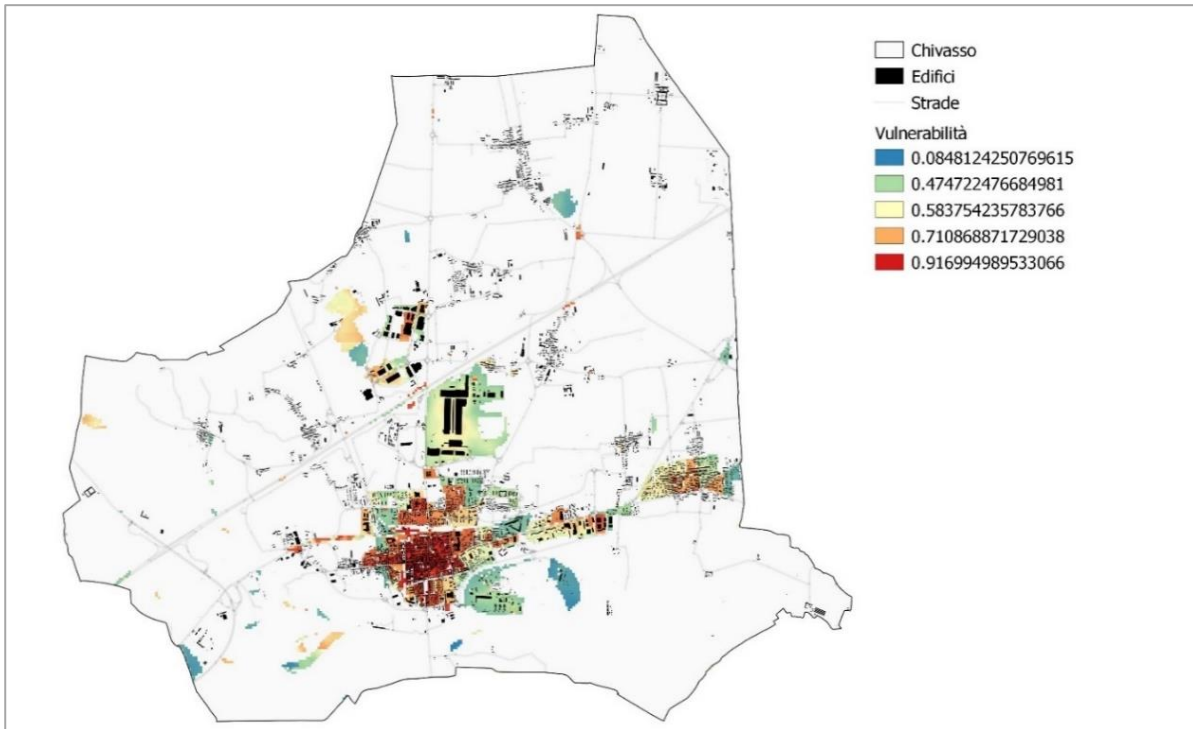
Nella formula del rischio, per la componente relativa alla vulnerabilità, sono stati definiti i seguenti parametri:

$$HV^{W_{HV}} \times EV^{W_{EV}} \times VV^{W_V}$$

Dove:

W^V è il peso associato a VV ed è **pari a 0,50** per la città di Chivasso.

La mappa che segue è la risultante dal calcolo effettuato.



Mapa della vulnerabilità relativa alla città di Chivasso

1.1.4 Valutazione del rischio complessivo

Per procedere con il calcolo del rischio, tutti i livelli devono essere normalizzati in valori da 0 a 1.

una volta normalizzati i valori sarà possibile valutare il rischio temperature estreme in riferimento alla salute per la città di Chivasso, applicando la seguente formula:

$$HV^{W_{HV}} \times EV^{W_{EV}} \times VV^{W_V}$$

Dove:

HV è il valore del PERICOLO

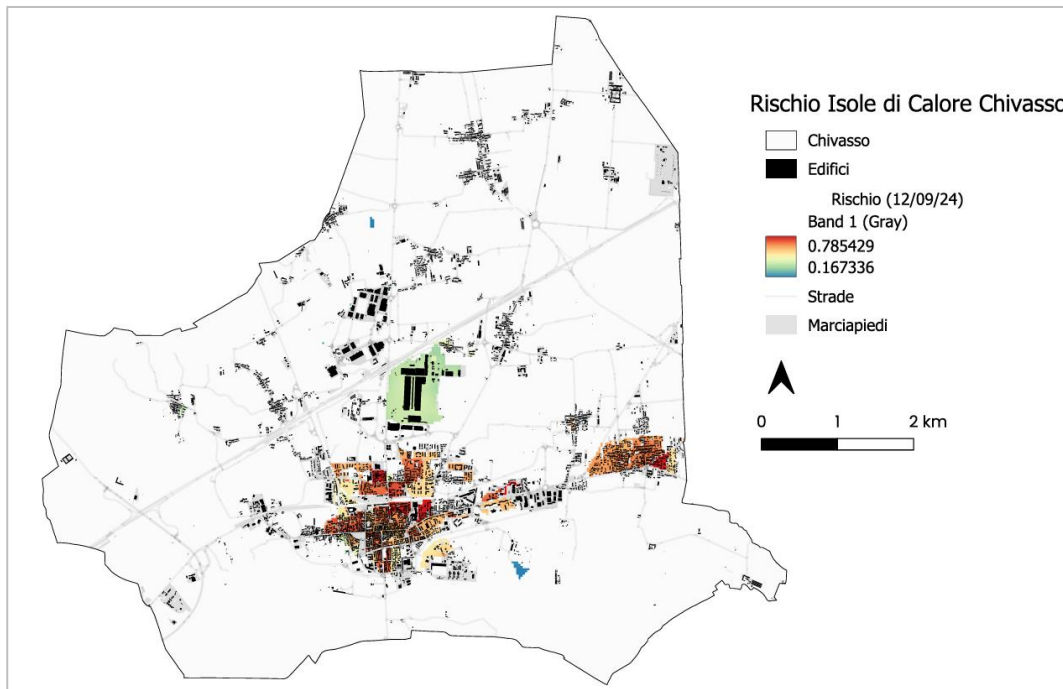
EV è il valore dell'ESPOSIZIONE

VV è il valore della VULNERABILITA'

W^{HV} è il peso associato a HV, per il Comune di Chivasso è stato fissato a 0,25

W^{EV} è il peso associato a EV, per il Comune di Chivasso è stato fissato a 0,25

W^V è il peso associato a VV, per il Comune di Chivasso è stato fissato a 0,50



Mappa del rischio relativa a Chivasso

2. ZONIZZAZIONE E IDENTIFICAZIONE DELLE AREE MICRO URBANE

2.1 VALUTAZIONE DEL RISCHIO NELLE MICRO AREE URBANE

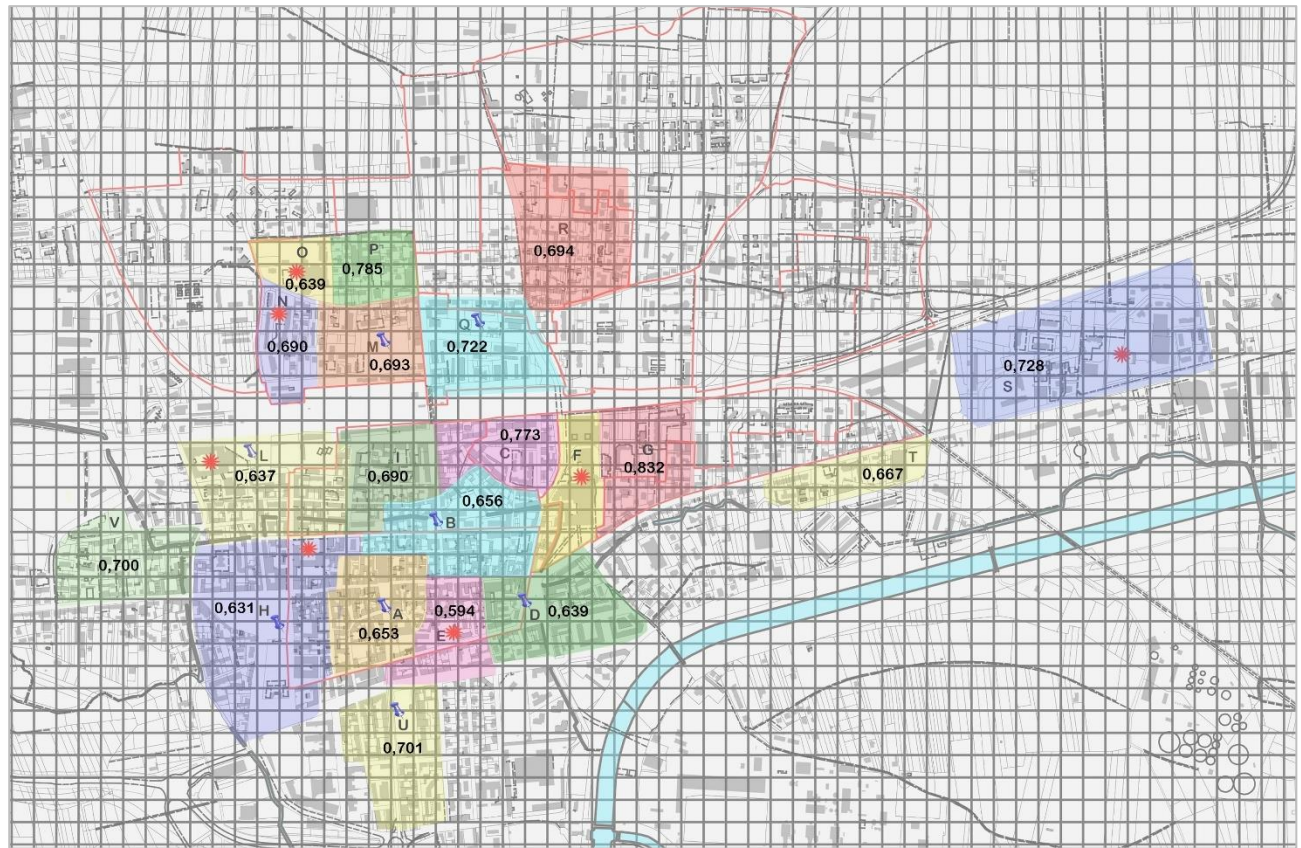
Partendo dalla mappa del rischio complessivo, elaborata per la città di Chivasso, si è scesi di scala andando ad individuare delle microzone urbane rappresentative delle zone a maggior rischio temperature estreme in relazione alla salute degli abitanti. Per agevolare la perimetrazione delle aree urbane è stata introdotta una griglia con interassi fissi di 50 x 50 metri, la quale ha consentito, insieme con il grafo stradale, il tessuto urbanistico e le zone censuarie, di individuare 20 microzone urbane, contraddistinte con codice alfabetico, sulle quali andare a verificare il livello di vulnerabilità, come riportato nella mappa sottostante.



Planimetria con in evidenza le 20 microzone urbane individuate in Chivasso

L'analisi alla scala micro-urbana consente di circoscrivere in maniera efficace quelle che sono le problematiche in termini di adattamento ai cambiamenti climatici e, di conseguenza, permette una più facile individuazione delle opportune misure di resilienza e adattamento da inserire per rendere la zona meno vulnerabile. Nella maggior parte dei casi, sono stati individuati dei "baricentri di adattamento" all'interno delle microzone urbane; si tratta di elementi che fungono da nodo per l'intera area, nella maggior parte dei casi si tratta di piazze ma sono anche considerati tali gli edifici pubblici di interesse (scuole, municipio, ecc.). Le misure di adattamento che verranno introdotte ai diversi "baricentri di adattamento", potranno positivamente condizionare gli edifici al loro intorno ed è questa la ragione per cui le microzone individuate hanno dimensioni contenute in termini di estensione superficiale.

Per ciascuna delle 20 microzone è stato anche calcolato il rischio medio, al fine di classificare con maggiore precisione le parti della città maggiormente vulnerabili alle temperature estreme.



Planimetria con in evidenza i valori medi di rischio per le 20 microzone urbane individuate in Chivasso

3. VALUTAZIONE DEL RISCHIO TEMPERATURE ESTREME A SCALA MICRO URBANA

3.1 CRITERI PER LA VALUTAZIONE

La valutazione del rischio temperature estreme a scala micro-urbana nel contesto del Comune di Chivasso è stata condotta grazie all'utilizzo di specifici criteri che hanno consentito di valutare i parametri che maggiormente influenzano il rischio di effetto isola di calore, dovuto alle temperature estreme.

Di seguito vengono descritti in forma tabellare i criteri utilizzati per l'analisi e i relativi indicatori, dettagliando l'unità di misura e il metodo di calcolo.

3.1.1 Capacità delle superfici pavimentate di riflettere la radiazione solare

T.E.1 Capacità delle superfici pavimentate di riflettere la radiazione solare	
Descrizione	Questo criterio utilizza il valore medio dell'Indice di Riflettanza Solare (SRI) calcolato per tutte le superfici orizzontali pavimentate di un'area urbana per stimare l'efficacia complessiva nel ridurre l'accumulo di calore. L'obiettivo principale è valutare la capacità dell'area urbana di riflettere la radiazione solare e dissipare il calore accumulato, mitigando l'effetto dell'isola di calore urbano. Più alto è il valore medio dell'SRI, più efficiente sarà l'area urbana nella gestione dell'energia solare, migliorando la vivibilità degli spazi urbani e contribuendo a ridurre gli impatti ambientali associati all'accumulo di calore.
indicatore	Indice di Riflessione Solare (SRI)
Unità di misura	Adimensionale
Valori di riferimento	Classe valore di vulnerabilità critica (1) – SRI = 0 Classe valore di vulnerabilità neutra (0,5) – SRI = 29 Classe valore di vulnerabilità ottimale (0) – SRI = 58
Riferimento Normativo	CAM Edilizia 2023
Metodo di verifica	Per calcolare il valore dell'indicatore: <ul style="list-style-type: none">• identificare le tipologie di materiali delle superfici pavimentate (strade, marciapiedi, parcheggi, piazze, ecc.) presenti nella zona urbana. Nel calcolo non vanno considerate le coperture (tetti piani e tetti a falda) e le aree verdi. Denotare ciascuna tipologia di materiale con l'indice i, dove $i = 1,2,3,\dots, n$, e n rappresenta il numero totale di tipologie di materiali pavimentati identificate;• per ogni tipologia di materiale i, associare un valore di Indice di Riflessione Solare SRI_i;• calcolare l'estensione complessiva (A_i) di ogni tipologia di materiale i;

	<ul style="list-style-type: none"> calcolare il valore ponderato per ciascuna tipologia di materiale moltiplicando il valore di SRI per l'area corrispondente: $SRI_{ponderato,i} = SRI_i \times A_i$ sommare i valori ponderati di tutte le tipologie di materiali $\sum_{i=1}^n (SRI_i \times A_i)$ calcolare la superficie complessiva di tutte le tipologie di materiali $A_{totale} = \sum_{i=1}^n A_i$ calcolare il valore medio di SRI $SRI_{medio} = \frac{\sum_{i=1}^n (SRI_i \times A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i}$
--	--

3.1.2 Capacità delle coperture di riflettere la radiazione solare

T.E.2 Capacità delle coperture di riflettere la radiazione solare	
Descrizione	Questo criterio utilizza il valore medio dell'Indice di Riflettanza Solare (SRI) calcolato per tutte le coperture di un'area urbana per stimare l'efficacia complessiva nel ridurre l'accumulo di calore. L'obiettivo principale è valutare la capacità dell'area urbana di riflettere la radiazione solare e dissipare il calore accumulato, mitigando l'effetto dell'isola di calore urbano. Più alto è il valore medio dell'SRI, più efficiente sarà l'area urbana nella gestione dell'energia solare, migliorando la vivibilità degli spazi urbani e contribuendo a ridurre gli impatti ambientali associati all'accumulo di calore.
indicatore	Indice di Riflessione Solare (SRI)
Unità di misura	Adimensionale

<p>Valori di riferimento</p> <p>Coperture con pendenza > 15%</p>	<p><u>Coperture con pendenza inferiore a 15°</u></p> <p>Classe valore di vulnerabilità critica (1) – SRI = 0</p> <p>Classe valore di vulnerabilità neutra (0,5) – SRI = 29</p> <p>Classe valore di vulnerabilità ottimale (0) – SRI = 58</p> <p><u>Coperture con pendenza inferiore a 15°</u></p> <p>Classe valore di vulnerabilità critica (1) – SRI = 50</p> <p>Classe valore di vulnerabilità neutra (0,5) – SRI = 75</p> <p>Classe valore di vulnerabilità ottimale (0) – SRI = 100</p>
<p>Riferimento Normativo</p>	<p>CAM Edilizia 2023</p>
<p>Metodo di verifica</p>	<p>Per calcolare il valore dell'indicatore:</p> <ul style="list-style-type: none"> • identificare le tipologie di materiali delle coperture. Denotare ciascuna tipologia di materiale con l'indice i, dove $i = 1,2,3,\dots, n$, e n rappresenta il numero totale di tipologie di materiali identificate; • per ogni tipologia di materiale i, associare un valore di Indice di Riflessione Solare SRI_i; • calcolare l'estensione complessiva (A_i) di ogni tipologia di materiale i; • calcolare il valore ponderato per ciascuna tipologia di materiale moltiplicando il valore di SRI per l'area corrispondente: $SRI_{ponderato,i} = SRI_i \times A_i$ <ul style="list-style-type: none"> • sommare i valori ponderati di tutte le tipologie di materiali $\sum_{i=1}^n (SRI_i \times A_i)$ <ul style="list-style-type: none"> • calcolare la superficie complessiva di tutte le tipologie di materiali $A_{totale} = \sum_{i=1}^n A_i$ <ul style="list-style-type: none"> • calcolare il valore medio di SRI

	$SRI_{\text{medio}} = \frac{\sum_{i=1}^n (SRI_i \times A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i}$ <p>Dato che i valori di riferimento delle classi di vulnerabilità sono differenti, questa procedura di calcolo va applicata separatamente per le coperture con inclinazione superiore ai 15° e per quelle con inclinazione inferiore ai 15°.</p>
--	--

3.1.3 Riflessività zona urbana

T.E.3 Riflessività zona urbana	
Descrizione	La riflessività della zona urbana viene misurata attraverso l'albedo. Per albedo si intende la frazione di luce solare che viene diffusamente riflessa da un corpo ed è definita dal rapporto tra la radiosità e l'irraggiamento ricevuto da una superficie. La albedo viene misurata su una scala che va 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 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. L'obiettivo è quello di massimizzare la riflessione della radiazione solare al fine di evitare che si generino isole di calore urbano tra gli edifici.
indicatore	Albedo medio
Unità di misura	Adimensionale
Valori di riferimento	Classe valore di vulnerabilità critica (1) – Albedo medio = 0,1 Classe valore di vulnerabilità neutra (0,5) – Albedo medio = 0,35 Classe valore di vulnerabilità ottimale (0) – Albedo medio = 0,6
Riferimento Normativo	Letteratura scientifica
Metodo di verifica	Per calcolare il valore dell'indicatore è possibile utilizzare il software opensource QGIS. In QGIS è, infatti, possibile calcolare l'albedo di una superficie basandosi sui dati satellitari, utilizzando i valori di riflettanza delle diverse bande in un'immagine multispettrale. L'albedo viene generalmente calcolato come la frazione di

energia solare riflessa da una superficie rispetto alla quantità totale di energia solare in entrata. Per calcolare l'indicatore procedere come riportato di seguito:

- **Preparare i Dati:**

Utilizza un'immagine multispettrale che abbia bande nello spettro del visibile e nell'infrarosso vicino (NIR). Per questa analisi è stata utilizzata un'immagine del satellite Landsat 8. Assicurati che ciascuna banda sia calibrata alla riflettanza "top-of-atmosphere" (TOA). Per alcuni dati satellitari (es. Landsat), questo passaggio potrebbe già essere stato effettuato. In caso contrario, dovrai eseguire questa operazione utilizzando i valori di radianza forniti con l'immagine.

- **Caricare l'Immagine Satellitare:** Importa il file raster multispettrale (come .tif) in QGIS tramite **Layer > Aggiungi Layer > Aggiungi Layer Raster**.

- **Calcolare la Riflettanza per Ciascuna Banda (se necessario):**

Se stai lavorando con dati grezzi, converti la radianza in riflettanza per ciascuna banda utilizzando la formula e il fattore di scala appropriati. Questo passaggio potrebbe non essere richiesto se i dati sono già stati convertiti in riflettanza.

- **Aprire il Calcolatore Raster:**

Vai su **Raster > Calcolatore Raster**. Nel Calcolatore Raster, puoi inserire un'espressione per calcolare l'albedo.

- **Definire la Formula di Calcolo dell'Albedo:**

La formula per l'albedo varia in base alle bande specifiche utilizzate nei tuoi dati. Ai fini di questa analisi è stata utilizzata la formula per calcolare l'albedo nell'infrarosso vicino.

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

Dove

α = la banda corrispondente all'infrarosso vicino di Landsat.

Ecco come inserire questa formula:

Inserisci ciascuna banda con il suo peso corrispondente. Sostituisci **Banda 2, Banda 4**, ecc., con i nomi dei layer nel tuo progetto (potrebbe essere necessario controllare i nomi delle bande nel pannello **Layer**). Inserisci questa formula nel **Calcolatore Raster**, assicurandoti di utilizzare i numeri delle bande e i coefficienti corretti per la tua immagine satellitare.

- **Eeguire il Calcolo:**

Scegli una posizione di output e un nome per il file raster dell'albedo calcolato. Clicca su **OK** per creare il layer raster dell'albedo.

- **Visualizzare e Analizzare il Layer dell'Albedo:**

Il layer generato mostrerà i valori di albedo, generalmente compresi tra 0 (nessuna riflettanza) e 1 (riflettanza totale). Stila il layer per visualizzare meglio l'albedo nell'area di studio.

3.1.3 Disponibilità aree verdi

T.E.4 Disponibilità aree verdi	
Descrizione	Il criterio valuta la capacità di un'area urbana di mitigare l'effetto isola di calore attraverso la presenza e distribuzione di aree verdi, considerando la percentuale di aree verdi rispetto alla superficie totale urbana. Le aree verdi includono parchi, giardini pubblici, boschi urbani, tetti verdi e altre superfici vegetate. Questo indicatore è cruciale per promuovere il raffreddamento naturale e migliorare il microclima urbano, riducendo le temperature locali e migliorando il comfort termico.
indicatore	Percentuale di aree verdi sul totale dell'area urbana
Unità di misura	Percentuale %
Valori di riferimento	Classe valore di vulnerabilità critica (1) – Percentuale aree verdi = 0 % Classe valore di vulnerabilità neutra (0,5) – Percentuale aree verdi = 36 % Classe valore di vulnerabilità ottimale (0) – Percentuale aree verdi = 72 %
Riferimento normativo	CAM Edilizia 2023
Metodo di verifica	Per calcolare il valore dell'indicatore: <ul style="list-style-type: none"> • Calcolare l'estensione dell'area urbana • Misurare l'estensione complessiva delle aree verdi nell'area urbana. Utilizzare mappe o immagini satellitari ad alta risoluzione. Le aree verdi includono parchi, giardini, prati e altre superfici vegetate. • Calcolare il valore dell'indicatore applicando la seguente formula: $\text{Percentuale di aree verdi} = \left(\frac{\text{Area totale delle aree verdi}}{\text{Area totale della zona urbana}} \right) \times 100$

3.1.5 Superfici pavimentate ombreggiate

T.E.5 Superfici pavimentate ombreggiate	
Descrizione	Questo criterio valuta la quantità di superficie urbana coperta da ombra in un momento specifico, ossia alle ore 12:00 del 21 giugno (giorno del solstizio d'estate), ed è utile per comprendere l'efficacia delle strategie urbane nella mitigazione delle isole di calore e nella promozione del comfort termico degli spazi pubblici. Calcolato come rapporto tra l'area complessiva delle superfici ombreggiate e l'area totale della zona urbana in esame, fornisce un valore

	<p>percentuale che evidenzia quanto sia diffusa l'ombra nelle ore centrali della giornata estiva. Attraverso l'analisi delle proiezioni d'ombra di edifici, vegetazione e altre strutture ombreggianti, l'indicatore consente di valutare l'efficacia della pianificazione urbana nel generare ombra naturale o artificiale e ridurre il riscaldamento eccessivo delle superfici. Questo dato diventa utile per orientare politiche e interventi, come l'aumento di aree verdi, la piantumazione di alberi in posizioni strategiche o la realizzazione di strutture ombreggianti nei punti critici. Il monitoraggio nel tempo della percentuale di aree ombreggiate è utile per verificare l'impatto delle politiche di rigenerazione urbana e sostenibilità.</p>
indicatore	Percentuale delle superfici pavimentate ombreggiate alle ore 12:00 del 21 giugno sul totale delle aree pavimentate.
Unità di misura	Percentuale %
Valori di riferimento	<p>Classe valore di vulnerabilità critica (1) – Percentuale aree ombreggiate = 0 %</p> <p>Classe valore di vulnerabilità neutra (0,5) – Percentuale aree ombreggiate = 25 %</p> <p>Classe valore di vulnerabilità ottimale (0) – Percentuale aree ombreggiate = 50 %</p>
Riferimento Normativo	Letteratura scientifica
Metodo di verifica	<p>Per calcolare il valore dell'indicatore:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinare l'area complessiva della zona urbana in esame. • Identificare e mappare edifici, alberi e altre strutture che possono generare ombra in quella zona specifica. • Usare un sistema GIS (Geographic Information System) o software di modellazione 3D, come AutoCAD o SketchUp, per rappresentare le strutture in grado di generare ombra alle ore 12:00 del 21 giugno. • Utilizzare il software di modellazione per simulare l'ombra proiettata da edifici e vegetazione alle ore 12:00 del 21 giugno. Considerare la posizione geografica della zona urbana e l'angolo d'inclinazione del sole al solstizio d'estate. • Eseguire la modellazione 3D per calcolare con precisione l'estensione delle aree ombreggiate, tenendo conto dell'altezza delle strutture e della distanza tra di esse. • Misurare la superficie totale delle aree ombreggiate proiettate a terra alle ore 12:00. • Applicare la seguente formula per calcolare la percentuale di aree ombreggiate: $\text{Percentuale di aree ombreggiate} = \left(\frac{\text{Area totale delle aree ombreggiate}}{\text{Area totale della zona urbana}} \right) \times 100$

3.1.6 Vista della volta celeste

T.E.6 Vista della volta celeste	
Descrizione	<p>Lo Sky View Factor, o più semplicemente abbreviato come SVF, è una metrica fondamentale negli studi urbani e ambientali, in quanto, misura la porzione di cielo visibile da un punto specifico, influenzando le condizioni di temperatura e i livelli di radiazione negli spazi urbani.</p> <p>Lo SVF è essenziale per descrivere la climatologia urbana a scale inferiori a circa 100 m, questo proxy per la radiazione netta dipende dall'altezza degli ostacoli nei suoi dintorni. L'obiettivo è, quindi, quello di massimizzare la dispersione del calore accumulato dalle superfici pavimentate durante il giorno attraverso il raffreddamento radiativo notturno.</p>
indicatore	Sky View Factor medio
Unità di misura	Adimensionale
Valori di riferimento	<p>Classe valore di vulnerabilità critica (1) – Sky View Factor = 0 %</p> <p>Classe valore di vulnerabilità neutra (0,5) – Sky View Factor = 50 %</p> <p>Classe valore di vulnerabilità ottimale (0) – Sky View Factor = 100 %</p>
Riferimento Normativo	Letteratura scientifica
Metodo di verifica	<p>Per calcolare il valore dell'indicatore è possibile utilizzare il software opensource di calcolo QGIS. Di seguito viene descritto come calcolare lo Sky View Factor (SVF) in QGIS utilizzando il plugin UMEP (Urban Multi-scale Environmental Predictor).</p> <p>Calcolare l'SVF in QGIS con UMEP</p> <ul style="list-style-type: none"> <p>Configura l'Ambiente di QGIS</p> <p>Assicurati che QGIS sia installato (si consiglia la versione 3.10 o successiva).</p> <p>Installa il plugin UMEP: in QGIS, vai su Plugin > Gestisci e Installa Plugin, cerca "UMEP" e installalo.</p> <p>Carica un Modello di Superficie Digitale (DSM) o un Modello Digitale di Elevazione (DEM) che rappresenti le altezze delle superfici di edifici, vegetazione e terreno.</p> <p>Prepara il Progetto</p> <p>Aggiungi il DSM o DEM a QGIS (Layer > Aggiungi Layer > Aggiungi Layer Raster...).</p> <p>Imposta il sistema di riferimento di coordinate (CRS) del progetto in modo che corrisponda all'area di studio, poiché il CRS influisce sull'accuratezza delle misurazioni.</p> <p>Apri lo Strumento Sky View Factor</p>

Nella barra degli strumenti principale di QGIS, vai a **UMEP > Pre-Processor > Sky View Factor (SVF) Calculator**.

- **Configura i Parametri dell'SVF**

Lo strumento SVF Calculator ti chiederà di configurare alcuni parametri:
Raster DSM: seleziona il layer DSM o DEM che rappresenta le elevazioni delle superfici.

Risoluzione (metri): imposta la risoluzione spaziale dell'output in metri. Idealmente, dovrebbe essere simile a quella del DSM/DEM.

Altezza del Punto di Osservazione: definisci l'altezza del punto di osservazione dal suolo (es. 1,5 metri per un'analisi a livello pedonale).

Distanza Massima di Ricerca: specifica la distanza massima in metri da considerare per i calcoli di visibilità. Distanze maggiori aumentano i tempi di elaborazione.

Divisioni Azimut e Zenith: questi parametri controllano la precisione dei calcoli SVF:

Divisioni azimutali: valori tipici vanno da 16 a 32 (valori più alti aumentano la precisione).

Divisioni zenithali: generalmente impostate tra 8 e 16.

Directory di Output: specifica dove salvare i risultati dell'SVF.

- **Esegui il Calcolo SVF**

Clicca su **Run** per avviare il calcolo. Il tempo necessario dipenderà dall'estensione e dalla risoluzione del DSM, nonché dalle divisioni azimutali e zenithali scelte.

Al termine, UMEP salva l'output SVF nella directory specificata e lo aggiunge al progetto QGIS come layer raster.

- **Visualizza e Interpreta i Risultati**

Il layer SVF visualizza valori compresi tra 0 e 1:

0 indica una vista del cielo completamente ostruita.

1 significa che il cielo è completamente visibile.

Regola la simbologia dei colori per visualizzare meglio le variazioni dell'SVF nell'area di studio. Questo può aiutare a identificare aree con un'ombreggiatura urbana significativa o spazi aperti.

3.2 ZONA G

L'area urbana identificata come "Zona G" si estende a Nord-Est dell'impianto storico della Città di Chivasso, proprio accanto al polo ospedaliero della città, che ne definisce il confine a Ovest. Si tratta, infatti, di un'area urbanistica di relativamente recente espansione, costituita da edifici residenziali realizzati negli anni Settanta.

La Zona G confina a Nord con via Eugenio Clara e con la ferrovia, Ovest con l'Ospedale di Chivasso, a Sud dalla SP 11 Padana Superiore mentre ad Est, il limite dalla zona è identificato con via Mazzè.



Fig. 1 – Zona G in evidenza su ortofotocarta



Fig. 2 – Zona G in evidenza su planimetria

Gli edifici che costituiscono la Zona G sono per la quasi totalità palazzine residenziali pluripiano; lungo la direttrice SP 11 Padana Superiore sono altresì presenti fabbricati residenziali di altezza inferiore, al cui piano terra sono insediate diverse attività commerciali. Nella Zona G è, inoltre, presente una scuola dell'infanzia privata, un'area gioco attrezzata a Nord e, tangente quest'ultima, una zona adibita a parcheggio a raso.



Fig. 3 – Vista aerea Zona G. Fonte Google Earth

Il baricentro climatico della Zona G è posto a Nord, nell'area gioco attrezzata, utilizzata come zona di ricreazione, area sgambamento cani e luogo di socializzazione. La strategia di adattamento per la zona in questione sarà costruita tenendo in considerazione anche l'area a parcheggio a raso, adiacente l'area attrezzata.

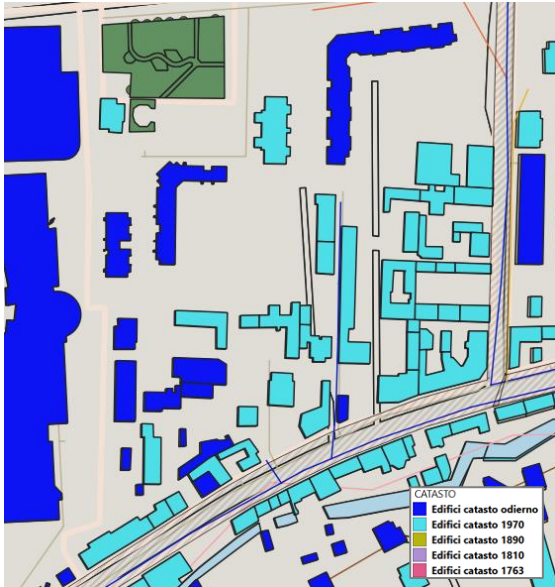


Fig. 4 – Zonizzazione catastale in elaborato Qgis



Fig. 5 – Indicazione planimetrica degli edifici rilevanti nella Zona G

3.2.1 Valutazione della vulnerabilità attuale

Al fine di verificare la vulnerabilità della Zona G, contraddistinta nella mappa del rischio come la più problematica, sono stati calcolati gli indicatori selezionati per la valutazione del rischio temperature estreme a scala micro-urbana.



Fig. 6 – Elementi e finiture caratterizzanti le superfici della Zona G

T.E.1 Capacità delle superfici pavimentate di riflettere la radiazione solare


Esigenza	Ridurre l'assorbimento di calore da parte delle superfici pavimentate
indicatore	Indice di Riflessione Solare medio (SRI)
Unità di misura	Adimensionale

Classi di prestazione	<ul style="list-style-type: none"> • Ottimale (0) - SRI medio = 58 • Critica (1) - SRI medio = 0
------------------------------	--

Planimetria



Elementi di supporto al calcolo

	Materiale Pavimentazione		Area (m ²)	Elementi	SRI
	Autobloccante rosso		842	Cortili	25
	Autobloccante chiaro		4480	Cortili, marciapiedi, strade	37
	Ghiaia		584	Strade, cortili	27
	Porfido		639	cortili	15
	Asfalto		14258	Strade, marciapiedi, parcheggi	6
	Calcestruzzo chiaro		5738	Cortili	21
	Asfalto chiaro		621	Cortili	27
	Autobloccante grigliato		187	Cortili	40
TOTALE		27348			
Valore attuale dell'indicatore	Indice di Riflessione Solare medio (SRI medio) = 16				
Classe valore vulnerabilità	0,72 – PIUTTOSTO NEGATIVO				

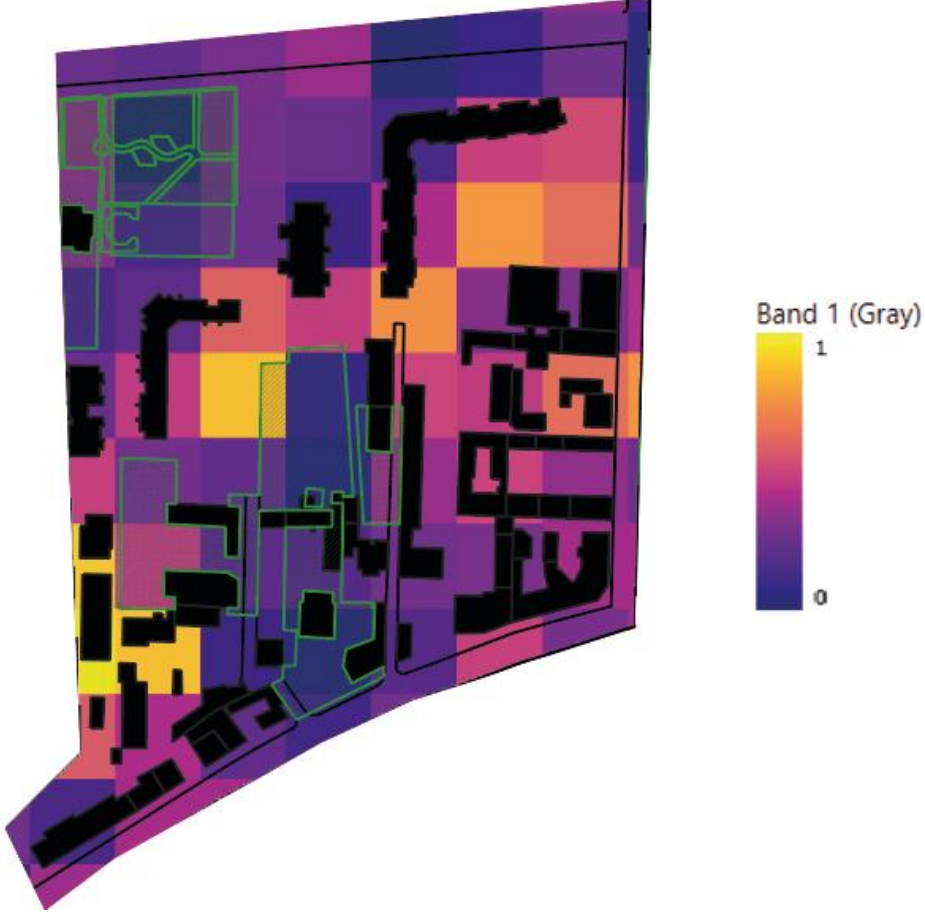
T.E.2 Capacità delle coperture di riflettere la radiazione solare

Esigenza	Ridurre l'assorbimento di calore da parte delle coperture
indicatore	Indice di Riflessione Solare medio (SRI)
Unità di misura	Adimensionale
Classi di prestazione	<p><u>Coperture con pendenza maggiore di 15°</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Ottimale (0) - SRI medio = 58 • Critica (1) - SRI medio = 0 <p><u>Coperture con pendenza pari o minore di 15°</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Ottimale (0) - SRI medio = 100 • Critica (1) - SRI medio = 50



Elementi di supporto al calcolo	Pendenza copertura	Materiale	Superficie (m ²)	SRI	SRI Medio
	maggiore di 15°	Tegole rosse	11676,5	36	37
		Metallo	944,5	56	
		Pannelli solari	203	10	
pari o minore di 15°	Bitume	1305	1	1	
Valore attuale dell'indicatore	<p><u>Coperture con pendenza maggiore di 15°</u> Indice di Riflessione Solare medio (SRI medio) = 37</p> <p><u>Coperture con pendenza pari o minore di 15°</u> Indice di Riflessione Solare medio (SRI medio) = 1</p>				
Classe valore vulnerabilità	<p><u>Coperture con pendenza maggiore di 15°</u> 0,36 – PIUTTOSTO POSITIVO</p> <p><u>Coperture con pendenza pari o minore di 15°</u> 1 – CRITICO</p> <p><u>Classe valore di vulnerabilità ponderato per l'estensione delle tipologie di coperture:</u> 0,42 - NEUTRALE</p>				

T.E.3 Riflettività zona urbana	
Esigenza	Massimizzare la riflessione della radiazione solare
indicatore	Albedo medio
Unità di misura	Adimensionale
Classi di prestazione	<ul style="list-style-type: none"> Ottimale (0) - Albedo medio = 0,6 Critica (1) - Albedo medio = 0,1

Planimetria	
Elementi di supporto al calcolo	Calcolo effettuato utilizzando Qgis
Valore attuale dell'indicatore	Albedo medio = 0,27
Classe valore vulnerabilità	0,66 – PIUTTOSTO NEGATIVO


T.E.4 Disponibilità aree verdi	
Esigenza	Ridurre le temperature a livello locale attraverso l'evotraspirazione
indicatore	Estensione aree verdi / superficie zona urbana
Unità di misura	%
Classi di prestazione	<ul style="list-style-type: none"> • Ottimale (0) – Estensione aree verdi / superficie zona urbana = 72% • Critica (1) - Estensione aree verdi / superficie zona urbana = 0%

Planimetria



Elementi di supporto al calcolo	Superficie (m²)	
	Aree verdi	10260
	Area urbana	54492
Valore attuale dell'indicatore	Estensione aree verdi / superficie zona urbana = 19%	
Classe valore vulnerabilità	0,74 – PIUTTOSTO NEGATIVO	

T.E.5 Superfici pavimentate ombreggiate

Esigenza	Ridurre l'accumulo di calore minimizzando la radiazione diretta incidente sulle aree pavimentate	
indicatore	Aree pavimentate ombreggiate (al 21.06 ore 12.00) / superficie zona urbana	
Unità di misura	%	
Classi di prestazione	<ul style="list-style-type: none"> Ottimale (0) – aree pavimentate ombreggiate (al 21.06 ore 12.00) / superficie zona urbana = 50 % Critica (1) - aree pavimentate ombreggiate (al 21.06 ore 12.00) / superficie zona urbana = 0 % 	
Planimetria		
Elementi di supporto al calcolo	Aree pavimentate ombreggiate (al 21.06 ore 12.00)	5379
	Aree pavimentate	27348
Valore attuale	Aree pavimentate ombreggiate (al 21.06 ore 12.00) / superficie zona urbana = 20%	

dell'indicatore	
Classe valore vulnerabilità	0,60 – NEUTRALE

T.E.6 Vista della volta celeste

Esigenza	Massimizzare la dispersione del calore accumulato dalle superfici pavimentate durante il giorno attraverso il raffreddamento radiativo notturno
indicatore	Sky View Factor medio
Unità di misura	Adimensionale
Classi di prestazione	<ul style="list-style-type: none"> • Ottimale (0) – Sky View Factor medio = 1 • Critica (1) - Sky View Factor medio = 0



Elementi di supporto al calcolo	Calcolo effettuato utilizzando Qgis
--	-------------------------------------

Valore attuale dell'indicatore	Sky View Factor medio = 0,74
Classe valore vulnerabilità	0,26 – PIUTTOSTO POSITIVO

3.2.2 Vulnerabilità complessiva

Sulla base dei singoli valori di vulnerabilità ottenuti per i criteri calcolati, è possibile calcolare la vulnerabilità complessiva relativa alla Zona G, applicando la seguente formula:

$$VV = \sum_{i=1}^n (I_i \times W_i)$$

Nella tabella seguente sono riportati i valori normalizzati e relativo peso per i criteri calcolati.

Codice	Criterio	Classe vulnerabilità	Valore normalizzato	Peso
T.E.1	Capacità delle superfici pavimentate di riflettere la radiazione solare	Piuttosto negativo	0,72	25%
T.E.2	Capacità delle coperture di riflettere la radiazione solare	Neutrale	0,42	15%
T.E.3	Riflettività zona urbana	Piuttosto negativo	0,66	15%
T.E.4	Disponibilità aree verdi	Piuttosto negativo	0,74	25%
T.E.5	Superfici pavimentate ombreggiate	Neutrale	0,60	10%
T.E.6	Vista della volta celeste	Piuttosto positivo	0,26	10%

Classe valore vulnerabilità complessiva = 0,61 - PIUTTOSTO NEGATIVO

Nel complesso l'area urbana presenta alcune criticità in relazione soprattutto alla capacità di riflettere la radiazione solare da parte delle superfici pavimentate (30% c.a. superficie urbana coperta da asfalto nero) e alla non elevata disponibilità di aree verdi. L'unico aspetto che risulta "piuttosto positivo" è la "vista della volta celeste", che permette una discreta dispersione del calore durante la notte, anche se questo non è sufficiente a compensare le altre vulnerabilità critiche.

3.2.3 Risultato della valutazione e interventi migliorativi

T.E.1 Capacità delle superfici pavimentate di riflettere la radiazione solare	
Classe valore vulnerabilità attuale	0,72 – PIUTTOSTO NEGATIVO

Classe valore vulnerabilità neutrale	<p>SRI medio pari a 29.</p> <p>Per raggiungere la classe del valore di vulnerabilità NEUTRALE, è necessario raggiungere un valore dell'indicatore SRI medio pari a 29. Ciò comporta un incremento dell'80% del valore attuale dell'indicatore. Il valore SRI medio pari a 29 è il requisito indicato per le aree esterne in riferimento alle isole di calore nei CAM Edilizia.</p>
Misure di adattamento	<p>A titolo di esempio, la sostituzione di 10.000 m² (su 14.258 m² totali) del materiale con SRI più critico, ovvero l'asfalto nero (SRI = 6) con un asfalto granulare grigio ad elevato SRI (SRI = 40).</p>

T.E.2 Capacità delle coperture di riflettere la radiazione solare	
Classe valore vulnerabilità attuale	Coperture inclinate è: 0,47 – NEUTRALE
Classe valore vulnerabilità attuale	Coperture piane è: 1 – CRITICO
Classe valore vulnerabilità neutrale	<p>Il livello CRITICO di vulnerabilità per le coperture piane è dovuto al fatto che si tratta di tetti neri bitumati. L'impatto sull'area urbana non è drammatico in quanto l'estensione di queste coperture è limitata.</p>
Misure di adattamento	<p>Si raccomanda di prevedere nel tempo la sostituzione di tutte le coperture piane bitumate con "cool roofs", ovvero coperture ad elevato indice di riflessione solare o con tetti verdi.</p>

T.E.3 Riflettività zona urbana	
Classe valore vulnerabilità attuale	0,69 – PIUTTOSTO NEGATIVO
Classe valore vulnerabilità neutrale	<p>Per raggiungere la classe del valore di vulnerabilità NEUTRALE, è necessario raggiungere un valore dell'indicatore (estensione aree verdi / superficie zona urbana) pari al 24,4%.</p> <p>Ciò comporta un incremento del 28% del valore attuale dell'indicatore. Il valore dell'indicatore (36%) corrispondente alla classe di vulnerabilità NEUTRALE è stata derivato dai requisiti indicati nei CAM Edilizia per le aree esterne verdi in riferimento alle isole di calore.</p>

Misure di adattamento	-
-----------------------	---

T.E.4 Disponibilità aree verdi	
Classe valore vulnerabilità attuale	0,74 – PIUTTOSTO NEGATIVO
Classe valore vulnerabilità neutrale	<p>Per raggiungere la classe del valore di vulnerabilità NEUTRALE, è necessario raggiungere un valore dell'indicatore (estensione aree verdi / superficie zona urbana) pari al 36%.</p> <p>Ciò comporta un incremento del 89% del valore attuale dell'indicatore. Il valore dell'indicatore (36%) corrispondente alla classe di vulnerabilità NEUTRALE è stato derivato dai requisiti indicati nei CAM Edilizia per le aree esterne verdi in riferimento alle isole di calore.</p>
Misure di adattamento	Incrementare l'estensione delle aree verdi di 9.357 m ² .

T.E.5 Superfici Pavimentate Ombreggiate	
Classe valore vulnerabilità attuale	0,60 – NEUTRALE
Classe valore vulnerabilità neutrale	Il livello di adattamento è appena sufficiente per le attuali condizioni climatiche ed è principalmente dovuto all'ombra proiettata dagli edifici.
Misure di adattamento	<p>La piantumazione di alberi ad alto fusto è raccomandata per incrementare il livello di ombreggiamento e raggiungere un valore dell'indicatore (aree pavimentate ombreggiate il 21.06 ore 12.00 / superficie zona urbana) pari al 30% corrispondente a una classe del valore di vulnerabilità pari a 0,4 - PIUTTOSTO POSITIVA.</p> <p>Per raggiungere tale obiettivo è necessario incrementare l'area ombreggiata delle superfici pavimentate di circa 2.800 m².</p>

T.E.6 Vista della volta celeste	
Classe valore vulnerabilità attuale	0,26 – PIUTTOSTO POSITIVA

Classe valore vulnerabilità neutrale	Il valore dell'indicatore Sky View Factor è ottimale per favorire la dispersione del calore accumulato dalle superfici pavimentate e dalle coperture durante la notte. Non sono necessari interventi migliorativi.
Misure di adattamento	Nessuno.

4. BIBLIOGRAFIA

- Testo GIZ and EURAC 2017: Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook. Guidance on how to apply the Vulnerability Sourcebook's approach with the new IPCC AR5 concept of climate risk. Bonn: GIZ.
- ADAPTNOW EU Project, <https://www.alpine-space.eu/project/adaptnow/>.
- Landsat 8 Bands Overview, NASA, 2013.
- Università degli studi di Padova, Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Mappatura delle isole di calore urbano durante eventi estremi a supporto dei piani di adattamento: il caso studio del Comune di Venezia, Teodoro Maria, 2023.
- Dodman, D., B. Hayward, M. Pelling, V. Castan Broto, W. Chow, E. Chu, R. Dawson, L. Khirfan, T. McPhearson, A. Prakash, Y. Zheng, and G. Ziervogel, 2022: Cities, Settlements and Key Infrastructure. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 907–1040, doi:10.1017/9781009325844.008.
- EN ISO14091:2021 "Adaptation to climate change — Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment making.
- Larsson N., Moro A, et al. (2007), SBMethod.
- Moro A., Koja A. (2020). RBE Method - Methodology and indicators for the assessment of the level of adaptation and resilience to climate change, Habit.A project, Interreg Alcotra Program.
- Moro A. (2021). Resilient Built Environment Tools, UN Climate Change Conference UK 2021 (COP26).
- Moro A. et al. (2023). SBE Method, Sustainable MED Cities project, ENI CBC MED Program.
- Moro A. (2024), RBE Method in spatial planning, Interreg Alpine Space ADAPTNOW.
- Zebisch, M. et al. (2023). Climate Risk Sourcebook. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Bonn.