

# **Progetto VivaJesi**

## Vivai di comunità per la forestazione urbana

### **A.1.2 – Analisi della vulnerabilità climatica e dei rischi**

Marzo 2025

#### **Responsabile del progetto:**

Comune di Jesi



#### **Documento elaborato da:**

Comune di Jesi e Unicam



#### **Supporto tecnico di:**

U-Space s.r.l. – Laboratorio per lo sviluppo territoriale



#### **Realizzato con il contributo di:**

Fondazione Cariverona (Bando CAPITALE NATURALE 2023)



## Sommario

Introduzione .....	3
1. Pericolo .....	4
1.1 Componenti del Pericolo .....	5
1.2 Mappa del Pericolo.....	9
2. Esposizione .....	10
3. Vulnerabilità .....	12
4.1 Sensibilità .....	13
4.2 Capacità adattiva .....	14
4.3 Mappa della Vulnerabilità .....	17
5. Mappa del Rischio .....	18

## Introduzione

Questo documento presenta i risultati dell'attività 1.2 *Analisi della vulnerabilità climatica e dei rischi*, una delle componenti di analisi a supporto del processo di implementazione del progetto VIVAJESI. L'obiettivo principale è la mappatura e la valutazione del rischio climatico nell'intero territorio comunale di Jesi, indagine per cui si è scelto di adottare lo strumento della *Catena d'Impatto*.

Si tratta di uno strumento per l'analisi collegate ai cambiamenti climatici, sviluppato da Adelphi ed Eurac per conto della Società tedesca per la cooperazione internazionale nel 2014 e poi aggiornato sulla base delle definizioni e dell'impianto concettuale dell'IPCC AR5<sup>1</sup>. Questo approccio consente di comprendere, sistematizzare e dare priorità ai fattori che determinano il rischio nel sistema interessato, nonché alle loro relazioni di causa-effetto. Si parte dall'individuazione di un *Rischio* definito in maniera piuttosto specifica e se ne analizzano a ritroso le componenti, identificando gli impatti intermedi, ovvero il *Pericolo*, l'*Esposizione* e la *Vulnerabilità*, che nel nostro caso abbiamo identificato in quanto segue:

1. **Pericolo**, rappresentato dal fenomeno dell'isola di calore urbana (UHI), studiato attraverso dati satellitari e stime termiche delle superfici per individuare le zone più critiche e le variazioni stagionali.
2. **Esposizione**, calcolata considerando la densità abitativa ricavata dalle sezioni di censimento Istat 2021.
3. **Vulnerabilità**, definita dall'interazione tra fattori sociodemografici, caratteristiche ecologico-naturali e disponibilità di servizi sul territorio.

Per garantire una comunicazione efficace dei risultati, il territorio è stato suddiviso in esagoni di un ettaro ciascuno, creando un'unità geometrica minima e omogenea. Inoltre, tutte le componenti sono state normalizzate per facilitare il confronto tra di esse e ottenere una lettura chiara e coerente dei dati. Nei capitoli successivi verranno approfondite le singole componenti e sotto-componenti che contribuiscono alla valutazione complessiva del *Rischio*. Di seguito è riportata una sintesi della struttura analitica adottata.

---

<sup>1</sup> Hagenlocher, M., Schneiderbauer, S., Zebisch, M., & Renner, K. (2014). *Vulnerability Sourcebook: Concept and guidelines for standardised vulnerability assessments*. Bonn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, adelphi, EURAC Research.

GIZ, E. (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*.

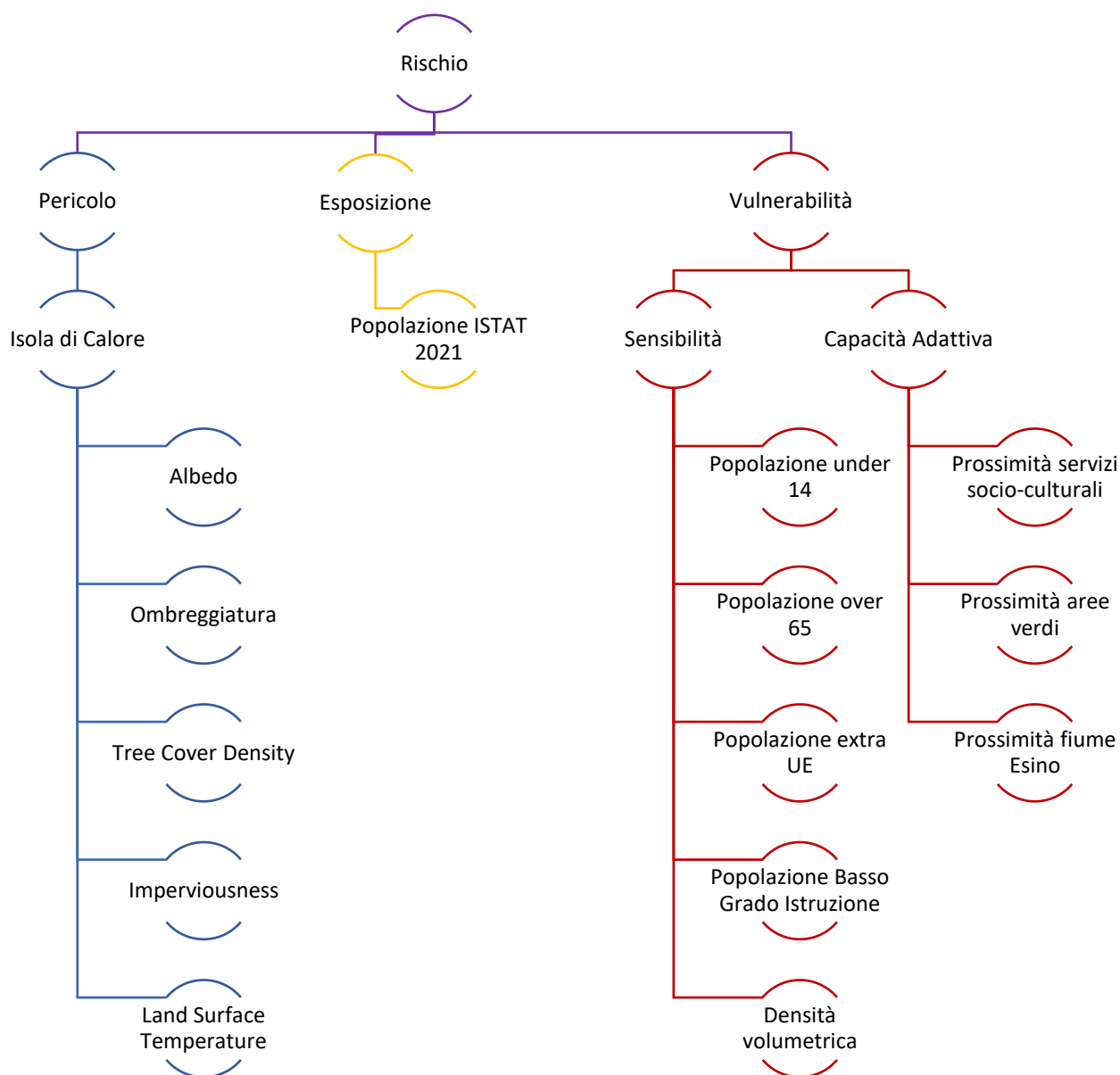


Figura 1 - Sintesi della struttura analitica adottata

## 1. Pericolo

La componente *Pericolo*, che esprime le minacce conseguenti alle dinamiche climatiche, corrisponde nel nostro approccio all'isola di calore urbana (UHI), che è un fenomeno ambientale che si manifesta con temperature significativamente più elevate nelle aree urbanizzate rispetto alle zone rurali circostanti. Questo effetto è il risultato di una combinazione di fattori legati alla trasformazione del territorio e alle attività antropiche, che modificano le caratteristiche termiche e radiative della superficie terrestre.

L'intensità dell'isola di calore è stata quantificata utilizzando un'equazione che integra cinque fattori chiave, ritenuti fondamentali per l'analisi del fenomeno:

1. Potere riflettente
2. Ombreggiatura
3. Densità di copertura arborea
4. Impermeabilità
5. Temperatura superficiale

Questa metodologia permette di confrontare e valutare l'influenza di ciascun fattore nel determinare l'intensità dell'UHI. Questi saranno brevemente descritti nel prossimo paragrafo.

## 1.1 Componenti del Pericolo

Di seguito una breve descrizione e le mappa dei singoli fattori presi in esame per la valutazione del *Pericolo*, nonché le regole di normalizzazione dei punteggi assegnati per poter mettere a sistema le componenti:

### Potere riflettente (Albedo)

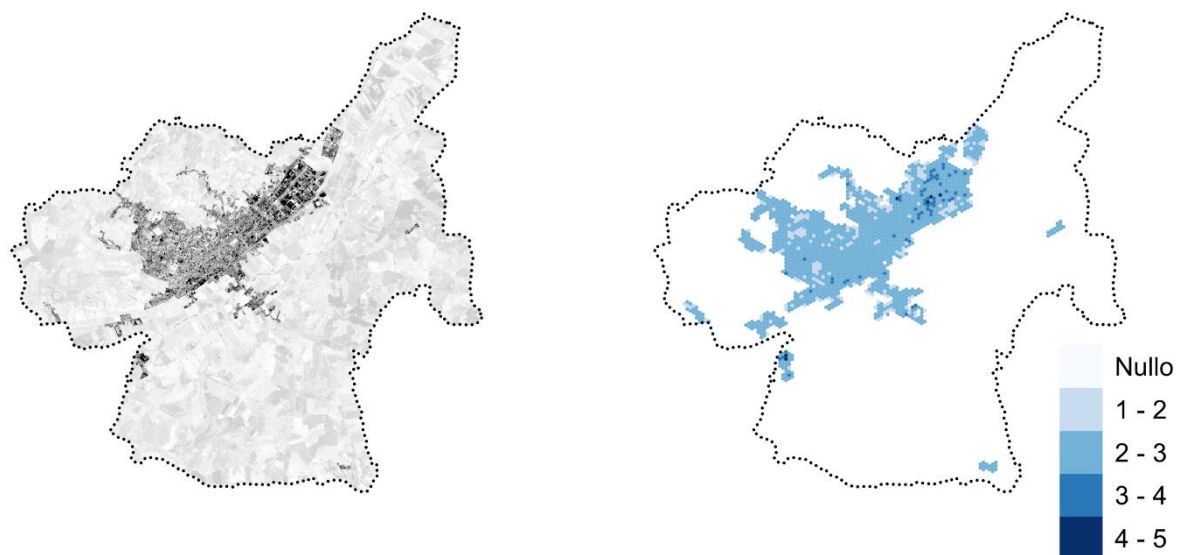


Figura 2 - A sinistra: mappa dell'Albedo. A destra: mappa dell'Albedo normalizzata su griglia esagonale

Il *Potere riflettente*, che corrisponde all' *Albedo*<sup>2</sup> calcolato nell'area urbana, è la capacità riflettente delle superfici, che influenza l'assorbimento della radiazione solare e permette di distinguere le superfici in base al materiale. Questo è stato calcolato su un'immagine satellitare multibanda Sentinel-2 con presa del 18 giugno 2024, attraverso la formula

$$Albedo = 0.356 \cdot B2 + 0.130 \cdot B4 + 0.373 \cdot B8 + 0.085 \cdot B11 + 0.072 \cdot B12 - 0.0018^3$$

<sup>2</sup> Hartmann, D. L. (1994). *Global physical climatology*. Academic Press

<sup>3</sup> Liang, S. (2001). "Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I: Algorithms." *Remote Sensing of Environment*, 76(2), 213-238.

Wang, Z., et al. (2018). "A method for estimating broadband albedo from Sentinel-2 multispectral imagery." *Remote Sensing*, 10(4), 601.

Dove:

B2 è la banda 2 di Sentinel-2 (Blu, 490 nm)

B4 è la banda 4 di Sentinel-2 (Rosso, 665 nm)

B8 è la banda 8 di Sentinel-2 (NIR, 842 nm)

B11 è la banda 11 di Sentinel-2 (SWIR, 1610 nm)

B12 è la banda 12 di Sentinel-2 (SWIR, 2190 nm)

Il risultato del calcolo, distribuito sugli esagoni col metodo della media dei valori, è stato normalizzato su una scala da 1 a 5. Le zone con valori di *Albedo* basso (basso potere riflettente) sono costituite da asfalto e tetti scuri, che assorbono più radiazione solare e rilasciano più calore, contribuendo all'effetto isola di calore. Quelle invece con valori di *Albedo* alto (alto potere riflettente) sono costituite da superfici chiare o vegetazione, che riflettono più luce, riducendo l'assorbimento di calore e mitigando l'innalzamento della temperatura.

### Ombreggiatura

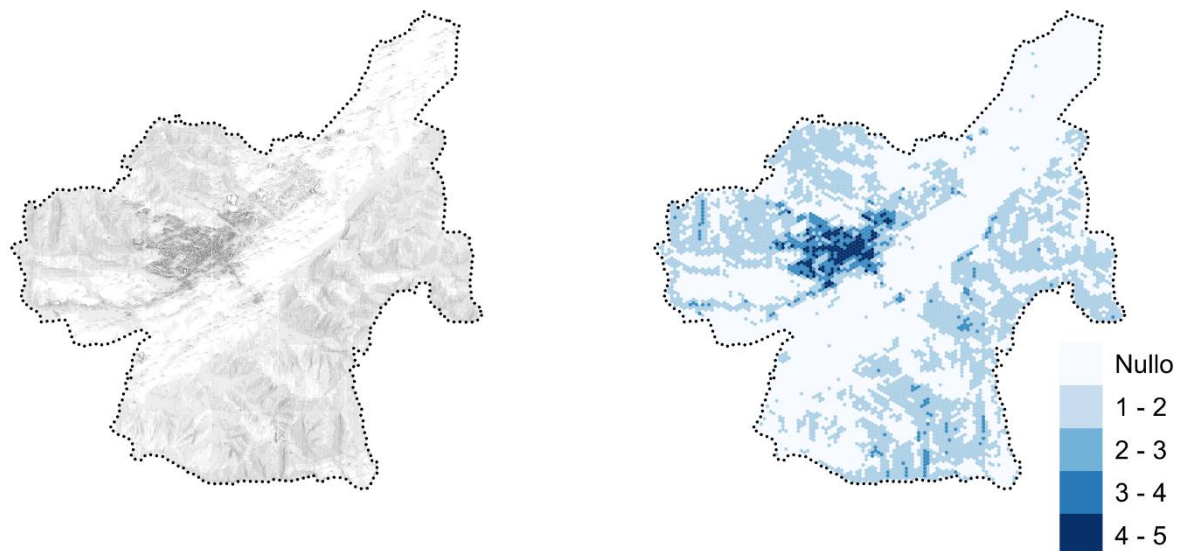


Figura 3 - A sinistra: mappa dell'Ombreggiatura. A destra: mappa dell'Ombreggiatura normalizzata su griglia esagonale

L' *Ombreggiatura* considera il ruolo degli edifici e dell'altimetria del terreno per valutare quanto un'area sia esposta alla luce diretta. Per ottenere un dato concreto, è stato analizzato l'ingombro volumetrico degli edifici presenti sul territorio, interpolandolo tramite l'algoritmo *r.sunmask* di GRASS. Questo algoritmo è stato configurato impostando parametri relativi all'Azimut e all'angolazione del sole per un'ora specifica di un giorno specifico dell'anno (22 luglio 2023 - secondo la letteratura, il giorno più caldo dell'anno) e ripetuta per ogni ora di luce. La somma di queste mappe ha prodotto una mappa finale di ombreggiatura giornaliera, in cui il valore di ciascun pixel rappresenta le ore di ombra a cui è soggetto. I valori di ore di ombra sono stati poi normalizzati su una scala da 1 a 5, dove 1 indica zone con poca ombreggiatura giornaliera e 5 un livello elevato di ombreggiatura giornaliera.

## Densità di copertura arborea

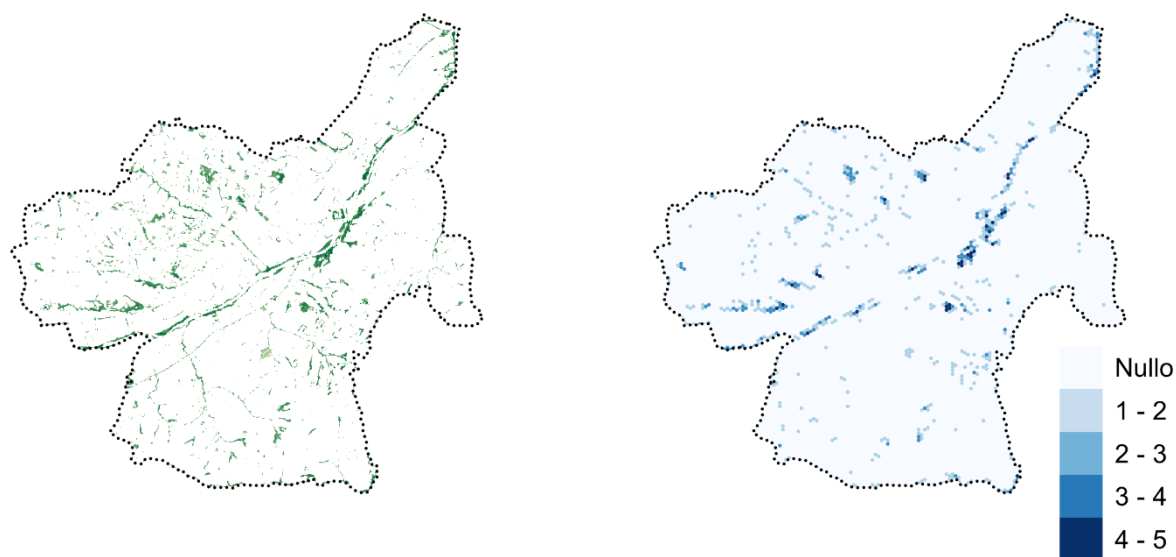


Figura 4 - A sinistra: mappa della Densità di copertura arborea. A destra: mappa della Densità di copertura arborea normalizzata su griglia esagonale

La *Densità di copertura arborea*, corrispondente alla *Copernicus Tree Cover Density*<sup>4</sup>, rappresenta l'elemento naturale che contribuisce a mitigare il riscaldamento grazie all'ombreggiamento e alla traspirazione. Questa copertura, fornita dal programma *Copernicus* dell'*Unione Europea* e ottenuta tramite l'elaborazione di immagini satellitari, rappresenta la percentuale di copertura arborea su una determinata area e completa l'informazione sull'ombreggiatura precedentemente descritta, integrando la componente vegetale ai dati basati sugli elementi antropici del territorio. Viene espressa con valori compresi tra 0% (assenza di copertura arborea) e 100% (copertura arborea totale). Tali valori sono stati associati agli esagoni calcolando una media relativa alle percentuali di copertura e poi normalizzati su una scala da 1 a 5, dove 1 corrisponde a bassa densità di copertura e 5 ad alta densità di copertura.

<sup>4</sup> European Environment Agency (EEA), Copernicus Land Monitoring Service, High Resolution Tree Cover Density, 2018. Disponibile su: <https://land.copernicus.eu/en/products/high-resolution-layer-tree-cover-density>

## Impermeabilità

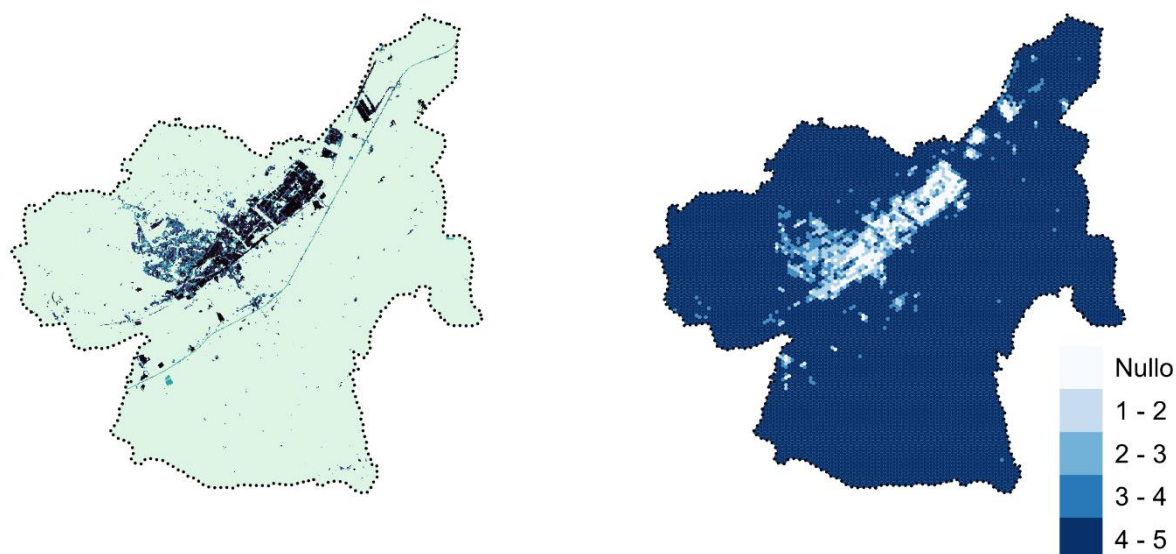


Figura 5 – A sinistra: mappa dell’Impermeabilità. A destra: mappa dell’Impermeabilità normalizzata su griglia esagonale

L’*Impermeabilità*, corrispondente alla *Copernicus Imperviousness*<sup>5</sup>, è la percentuale di superfici impermeabili, come asfalto e cemento, che trattengono calore e riducono l'infiltrazione dell'acqua. Questo dato è utile per valutare l'impatto ambientale dell'urbanizzazione nel fenomeno UHI, visto che in aree con alta percentuale di superfici artificiali il suolo stenta ad assorbire l'acqua e si riduce così il raffreddamento naturale che si ha in ambienti più verdi e permeabili. È fornita anch’essa dal programma *Copernicus* dell'*Unione Europea* e ottenuta tramite l'elaborazione di immagini satellitari. Viene espressa con valori compresi tra 0% (suolo completamente permeabile) e 100% (suolo completamente impermeabile). I valori, come negli altri casi, sono stati associati agli esagoni calcolando una media relativa alle percentuali e poi normalizzati da 1 a 5, dove 1 corrisponde a bassa impermeabilità e 5 ad alta impermeabilità.

<sup>5</sup> European Environment Agency (EEA), Copernicus Land Monitoring Service, High Resolution Layer Imperviousness, 2018. Disponibile su: <https://land.copernicus.eu/en/products/high-resolution-layer-imperviousness>



## Temperatura superficiale

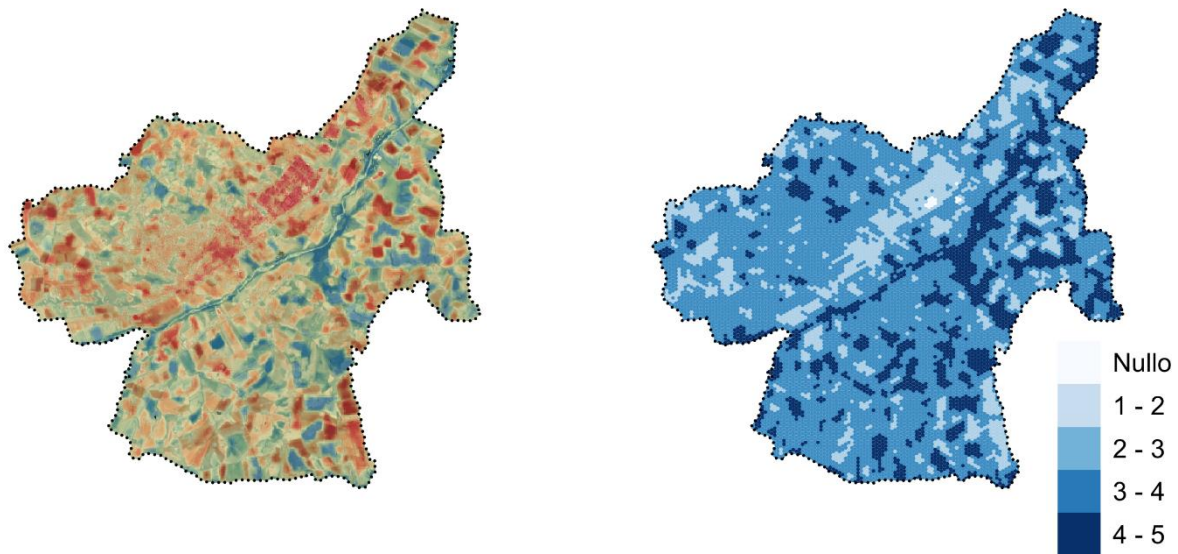


Figura 6 - A sinistra: mappa dell'LST. A destra: mappa dell'LST normalizzata su griglia esagonale

La *Temperatura Superficiale* (*Land Surface Temperature - LST*) corrisponde alla temperatura del suolo stimata a partire dai dati satellitari di emissività, parametro diretto per la valutazione dell'intensità dell'isola di calore.

È stata da noi calcolata utilizzando il tool *MWA* (Mono Window Algorithm) del pacchetto *LST*<sup>6</sup> del software *R*, utilizzando un'immagine Landsat-8 del giorno 23 luglio 2023.

I valori dell'immagine *raster* risultante sono stati associati agli esagoni attraverso una media e poi normalizzati da 1 a 5, dove 1 corrisponde ad alte temperature e 5 a basse temperature.

### 1.2 Mappa del Pericolo

La mappa del *Pericolo* è la risultante dalla somma degli elementi finora descritti, corrispondente alla mappa dell'isola di calore (*UHI*).

*Pericolo = Isola di Calore (UHI) = Potere riflettente + Ombreggiatura + Densità di copertura arborea + Impermeabilità + Temperatura superficiale*

Questo elaborato permette di evidenziare la distribuzione spaziale del fenomeno indagato, in particolare si nota che i valori più alti risultano nell'area industriale a nord dell'abitato e in alcuni tratti dei tessuti a sud del centro storico, in corrispondenza della ferrovia. L'area del centro storico e dei tessuti ad esso vicini hanno valori medio-alti di pericolo, l'area residenziale a più bassa densità a ovest presenta un attenuarsi del fenomeno, che risulta di basso impatto nelle aree agricole e naturali, soprattutto lungo il fiume Esino.

<sup>6</sup> Das, B., Roy, D., Chakraborty, D., & Rathore, P. (2024). *LST: Land Surface Temperature Retrieval for Landsat 8* (Version 2.0.0) [Software]. CRAN. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.LST>

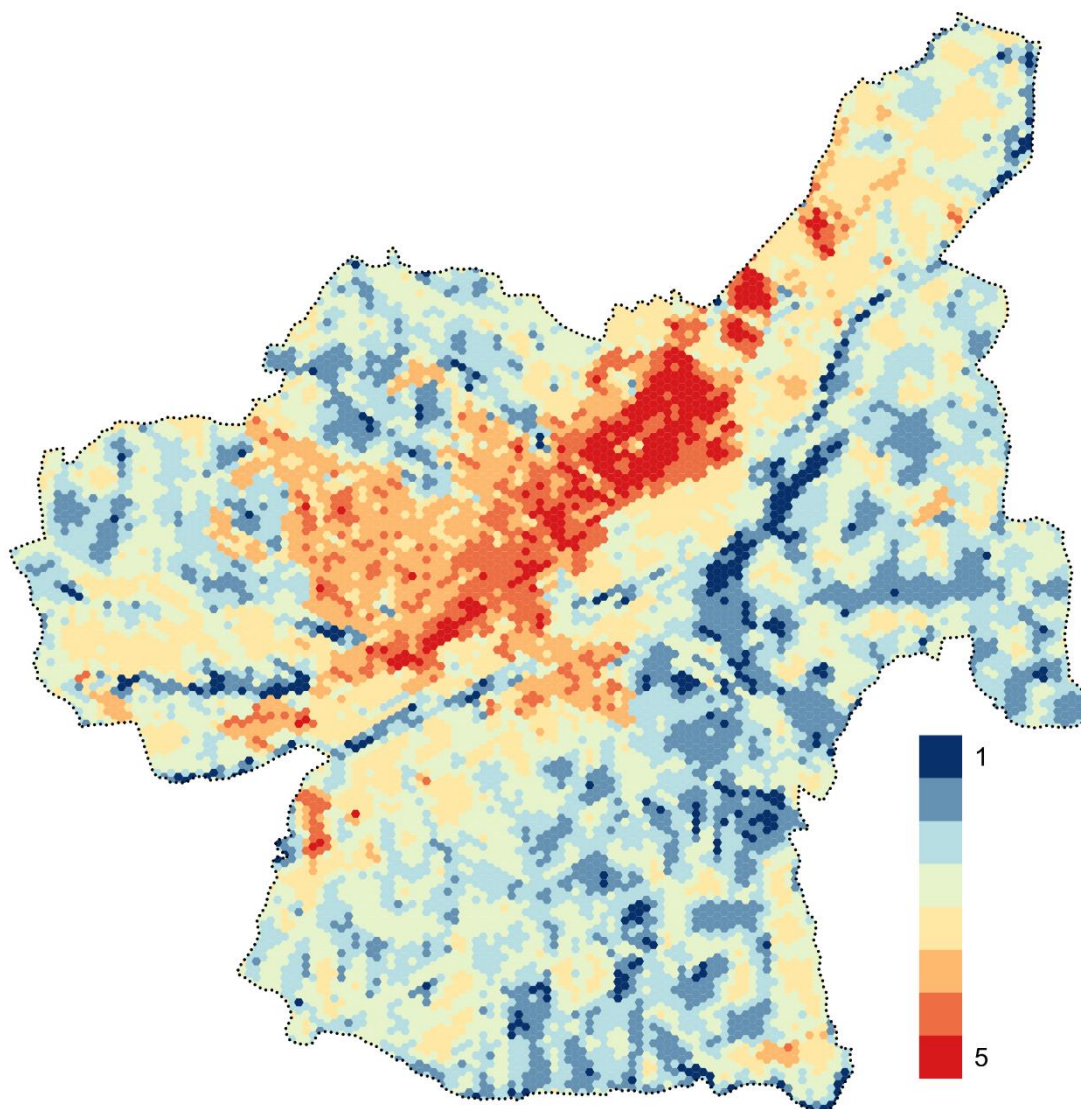


Figura 7 - Mappa della componente "Pericolo" (Isola di calore - UHI)

## 2. Esposizione

La componente *Esposizione*, che descrive gli attori esposti al rischio, nel nostro caso corrisponde al numero di abitanti presente sul territorio comunale.

$$\text{Esposizione} = \text{Abitanti} / \text{esagono (1 Ha)}$$

Per ottenere una distribuzione realistica di tale dato sono stati utilizzati i dati Istat 2021, organizzati per sezione di censimento. Tali dati sono stati manipolati in due fasi:

Il numero di abitanti è stato distribuito proporzionalmente ai volumi degli edifici residenziali, utilizzando la seguente formula:

$$\text{Abitanti fittizi} = (\text{Abitanti sezione di cens.} * \text{Volume edificio}) / \text{Volume sezione cens.}$$

Il numero degli abitanti fittizi assegnato a ciascun edificio è stato successivamente aggregato all'esagono corrispondente con la somma dei valori e poi normalizzato su scala 1 a 5.

Questo approccio consente di ottenere un dato più dettagliato sulla distribuzione della popolazione, sebbene con un margine di approssimazione, poiché si presume che ogni edificio sia abitato proporzionalmente al suo volume. La mappa risultante ha comunque un buon livello di attendibilità: confrontando l'immagine delle sezioni di censimento con gli abitanti per ettaro, si osserva una distribuzione cromatica simile a quella degli abitanti per esagono.

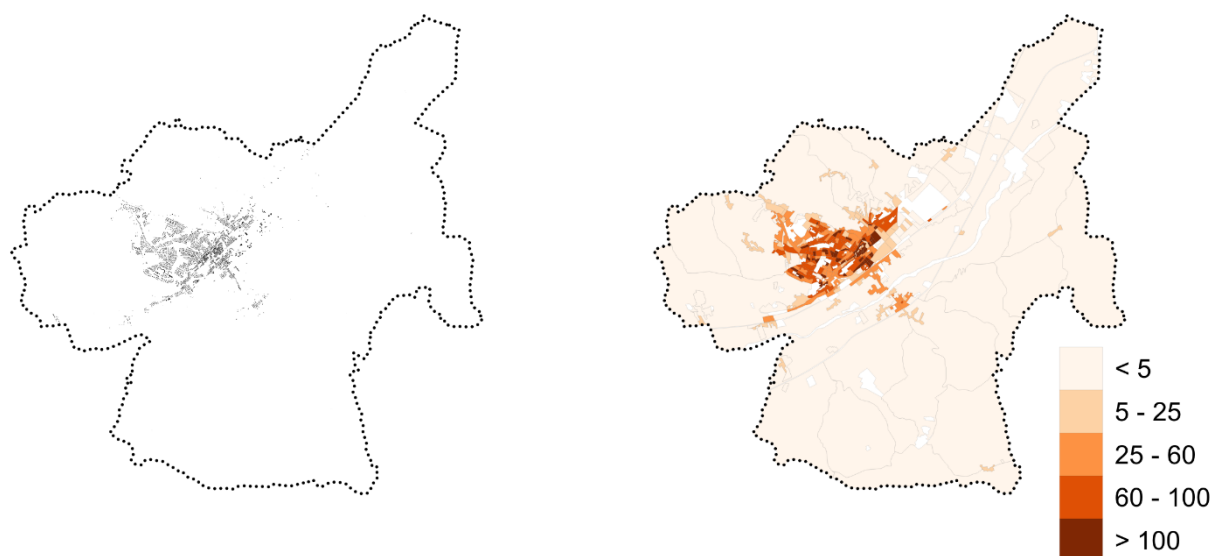


Figura 8 - A sinistra: la distribuzione degli edifici residenziali. A destra: le sezioni di censimento ISTAT (Abitanti/Ha)

I valori ottenuti sono stati poi distribuiti sugli esagoni con una media e successivamente normalizzati su una scala da 1 a 5, dove 1 corrisponde a basse densità di popolazione e 5 ad alte densità. Dalla sua lettura è evidente che le parti con maggiore densità di popolazione corrispondono ai quartieri San Giuseppe, Centro Storico e la parte ovest della zona Smia.

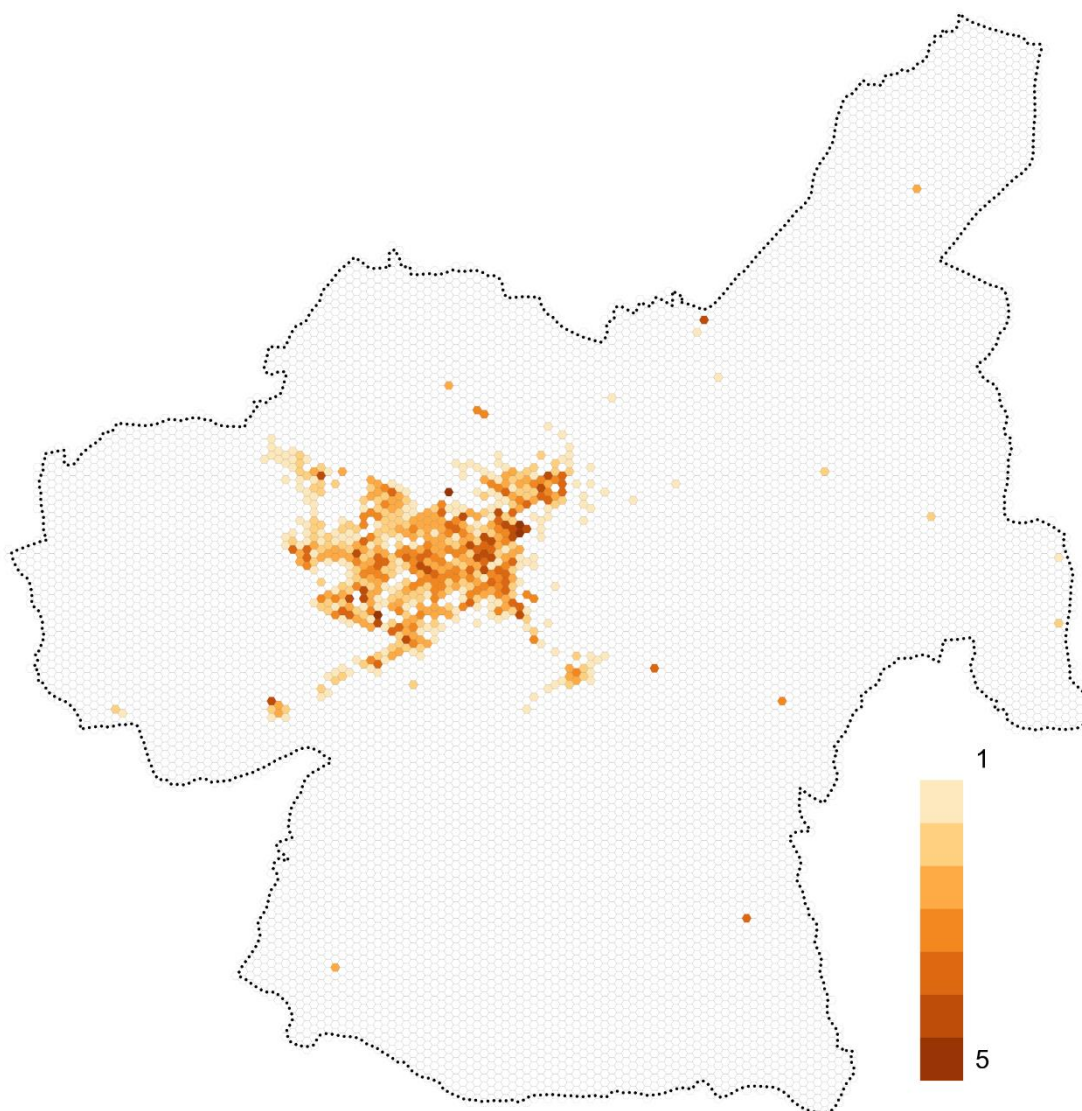


Figura 9 - Mappa della componente "Esposizione"

### 3. Vulnerabilità

La componente *Vulnerabilità*, che esprime le caratteristiche intrinseche del territorio e le sue particolarità in relazione al *Rischio*, è composta da due elementi combinati<sup>7</sup>:

1. *Sensibilità*, nel quale vengono sommati i dati relativi a variabili socio-demografiche di particolare interesse.
2. *Capacità Adattiva*, nel quale sono prese in considerazione dati relativi alla vicinanza di servizi socio-culturali, la vicinanza ad aree verdi attrezzate e la vicinanza al fiume Esino.

---

<sup>7</sup> Ellena, M., Melis, G., Zengarini, N., Di Gangi, E., Ricciardi, G., Mercogliano, P., & Costa, G. (2023). Micro-scale UHI risk assessment on the heat-health nexus within cities by looking at socio-economic factors and built environment characteristics: The Turin case study (Italy). *Urban Climate*, 49, 101514.



## 4.1 Sensibilità

Questa sezione è stata sviluppata basandosi su studi riguardanti il cambiamento climatico e la vulnerabilità sociale, adattando le informazioni del dataset del censimento ISTAT 2021 alla letteratura esistente<sup>8</sup>, che evidenzia che i soggetti vulnerabili e la densità abitativa rappresentano i principali fattori di vulnerabilità al cambiamento climatico.

I fattori sociodemografici analizzati riguardano:

1. la popolazione sotto i 14 anni
2. la popolazione sopra i 65 anni
3. la popolazione migrante
4. la popolazione con basso livello di istruzione
5. la densità volumetrica

La distribuzione di questi dati, provenienti dal censimento ISTAT 2021 e aggregati per sezione di censimento, è stata effettuata utilizzando lo stesso metodo descritto nel capitolo 2. *Esposizione*: il dato relativo alla popolazione è stato distribuito proporzionalmente al volume degli edifici residenziali. I valori relativi ai set di analisi sono stati poi normalizzati da 0 a 1.

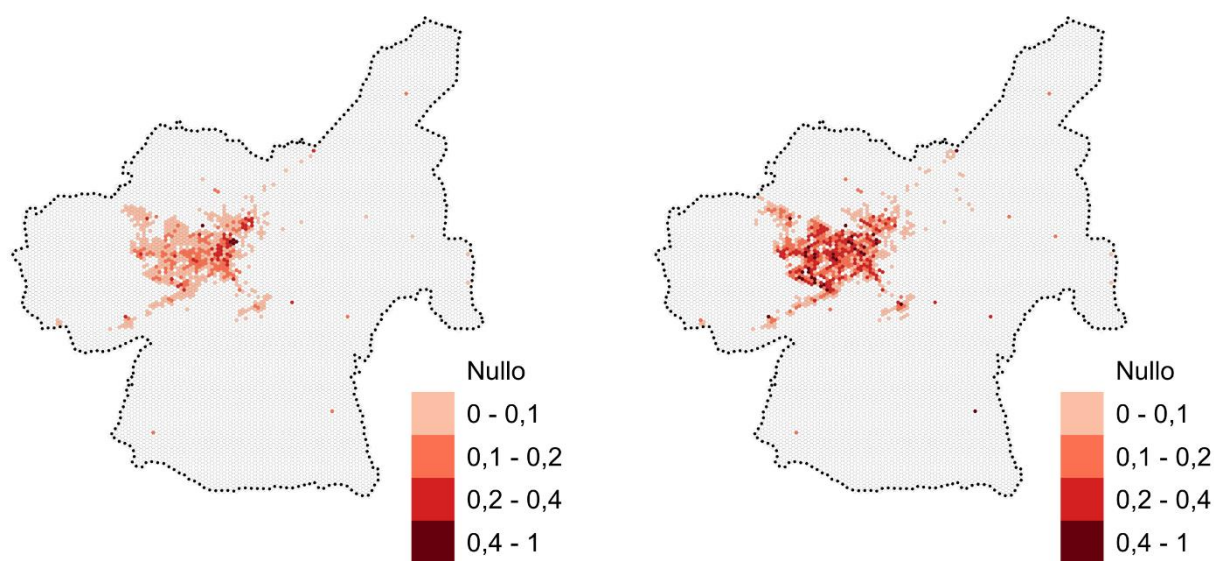


Figura 10 - A sinistra: la popolazione sotto i 14 anni. A destra: la popolazione sopra i 65 anni - normalizzazione su griglia esagonale

<sup>8</sup> Ellena, M., Breil, M., & Soriani, S. (2020). The heat-health nexus in the urban context: A systematic literature review exploring the socio-economic vulnerabilities and built environment characteristics. *Urban Climate*, 34, 100676. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100676>

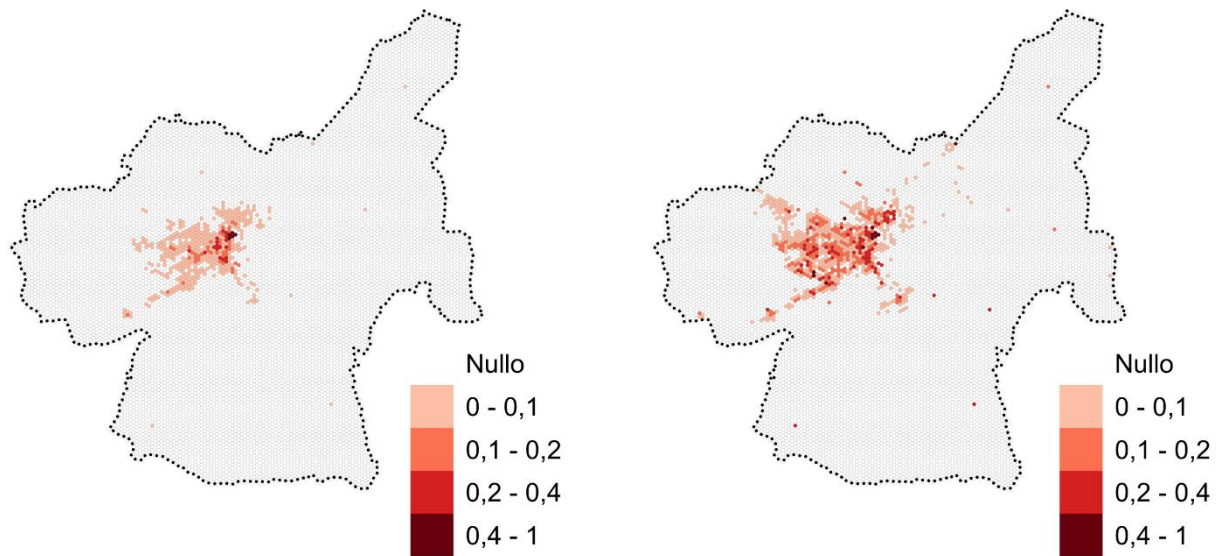


Figura 11 - A sinistra: la popolazione migrante. A destra: la popolazione con basso livello di istruzione - normalizzazione su griglia esagonale

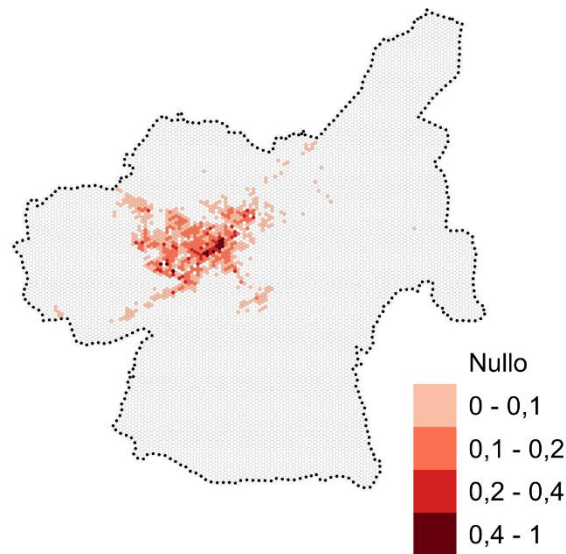


Figura 12 - Mappa della densità volumetrica normalizzata su griglia esagonale

## 4.2 Capacità adattiva

I fattori relativi alla *Capacità adattiva* del territorio sono costituiti dagli elementi che aiutano a mitigare i fattori di *Sensibilità* descritti nel precedente paragrafo. Essi riguardano:

1. la vicinanza di servizi a servizi socio-culturali (300m)
2. la vicinanza ad aree verdi attrezzate (300m)
3. la vicinanza al fiume Esino (100m)

## Servizi socio-culturali

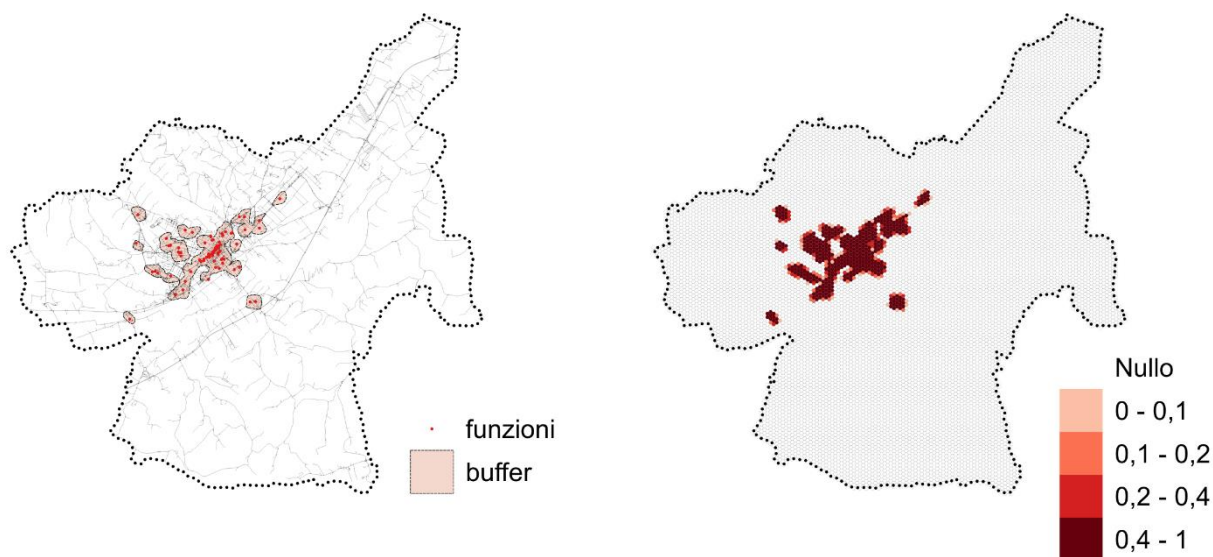


Figura 13 - A sinistra: mappa dei servizi con le aree di influenza. A destra: mappa dei servizi con le aree di influenza normalizzata su griglia esagonale

I dati relativi ai servizi sono stati forniti dal Comune di Jesi, che ha condotto un censimento dettagliato delle strutture presenti sul territorio. Da qui sono state estratte le funzioni ritenute significative per lo studio: biblioteche, centri sociali, cinema, teatri, farmacie, luoghi di aggregazione, musei e pinacoteche, oratori, scuole, uffici postali, uffici pubblici.

Per calcolare la zona di influenza (stimata in 300 metri), è stato utilizzato il metodo di *Network Analysis* (QGIS), che considera i 300 metri percorribili lungo la rete stradale adiacente al servizio, invece di un tradizionale buffer circolare. Questo approccio tiene conto dell'effettiva configurazione urbana e della reale accessibilità dei servizi.

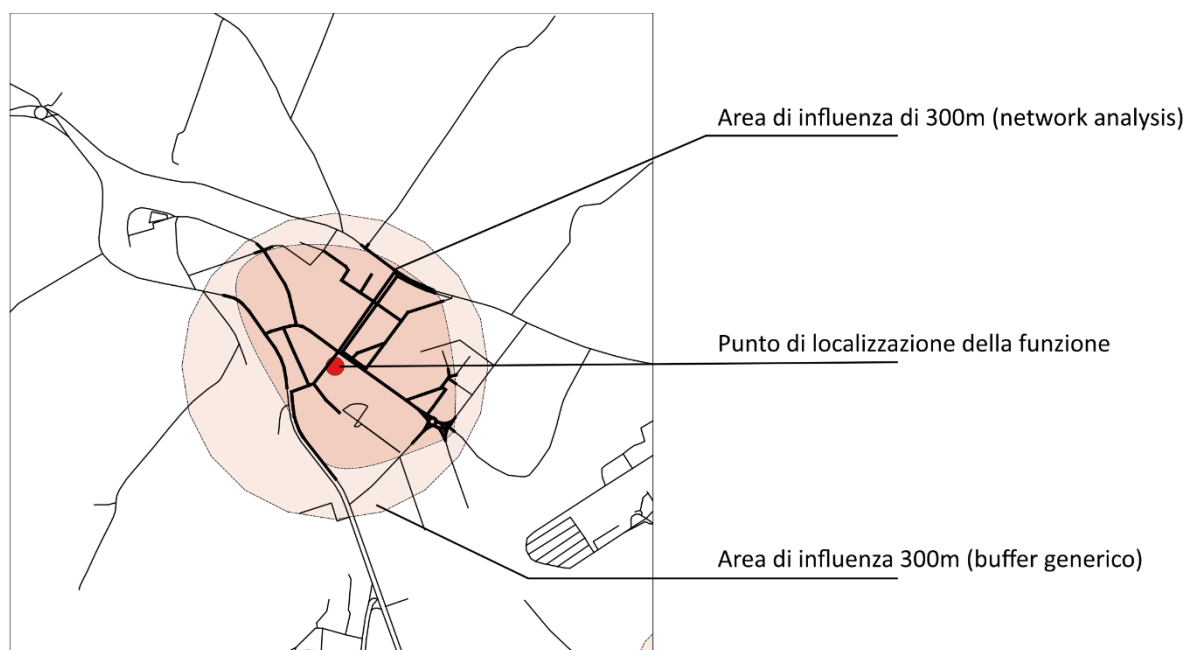


Figura 14 - differenza tra due diversi calcoli dell'area di influenza

Una volta definite le aree di influenza, queste sono state associate agli esagoni, assegnando a ciascuno un valore corrispondente alla superficie dell'area ricadente all'interno dell'esagono. Questo valore è stato normalizzato da 0 a 1.

### Aree verdi attrezzate

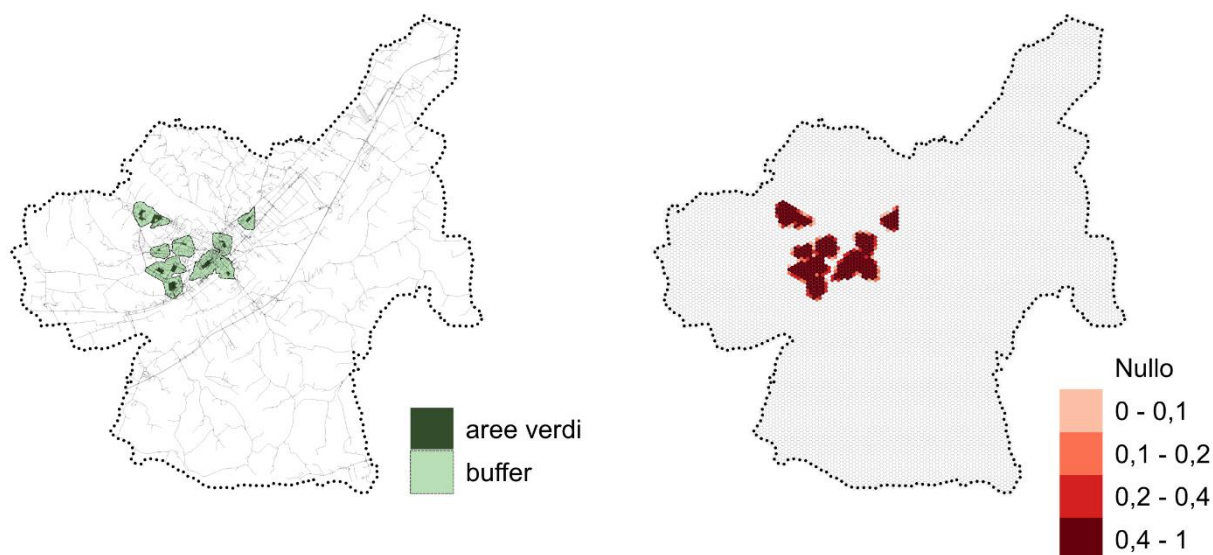


Figura 15 - A sinistra: le aree verdi con le aree di influenza. A destra: le aree verdi con le aree di influenza normalizzata su griglia esagonale

I dati relativi alle aree verdi attrezzate fanno parte del set di dati generato dalla ricerca sui servizi ecosistemici culturali (vedi Attività 1.1). La zona di influenza è stata calcolata entro 300 metri utilizzando lo stesso metodo descritto per le funzioni, ovvero la *Network Analysis*.

Analogamente a quanto fatto per le funzioni, le aree di influenza dei parchi sono state associate agli esagoni, assegnando a ciascuno un valore corrispondente alla superficie dell'area ricadente all'interno dell'esagono. Anche in questo caso, il valore è stato normalizzato su una scala da 0 a 1.

### Fiume Esino



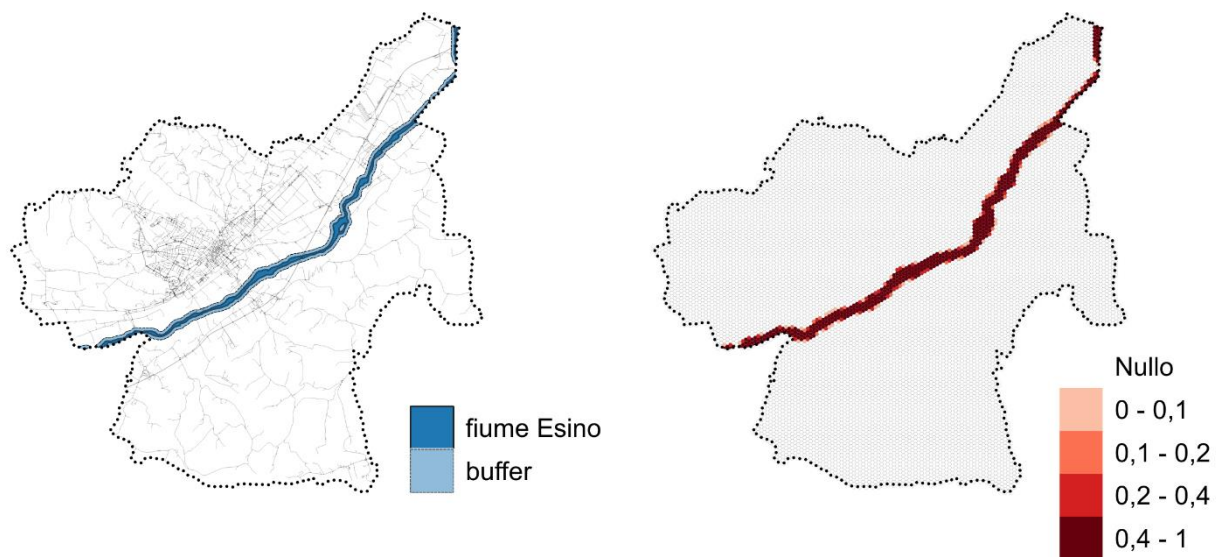


Figura 16 - A sinistra: Il fiume Esino con l'area di influenza. A destra: la stessa mappa normalizzata su griglia esagonale

Anche la vicinanza al fiume è stata considerata un elemento importante per la riduzione della vulnerabilità. In questo caso, è stata definita un'area buffer di 100 metri, inferiore rispetto a quella dei servizi e delle aree verdi. Questa scelta è dovuta al fatto che il fiume, essendo un elemento naturale, non è facilmente accessibile in molti punti a causa della scarsa presenza di infrastrutture viarie nelle vicinanze, rendendo quindi impraticabile l'uso della *Network Analysis*.

Anche in questo caso, il valore è stato normalizzato su una scala da 0 a 1.

### 4.3 Mappa della Vulnerabilità

Per costruire la mappa della *Vulnerabilità*, tutti gli elementi precedentemente descritti (normalizzati su una scala da 0 a 1) sono stati prima sommati per categoria: *Somma di Sensibilità* e *Somma di Capacità adattiva*.

Si è proceduto poi a sottrarre, solo qualora fosse presente il dato di *Somma di Sensibilità*, il valore di *Capacità adattiva*, altrimenti si è lasciato a zero il valore dell'esagono.

$$Vulnerabilità = \sum Sensibilità > 0 \Rightarrow \sum Sensibilità - \sum Capacità\ adattiva$$

La mappa risultante mostra valori di *Vulnerabilità* più elevati nelle aree caratterizzate da alta densità volumetrica, elevata concentrazione di popolazione vulnerabile e scarso accesso ai servizi di prossimità o agli elementi naturali.

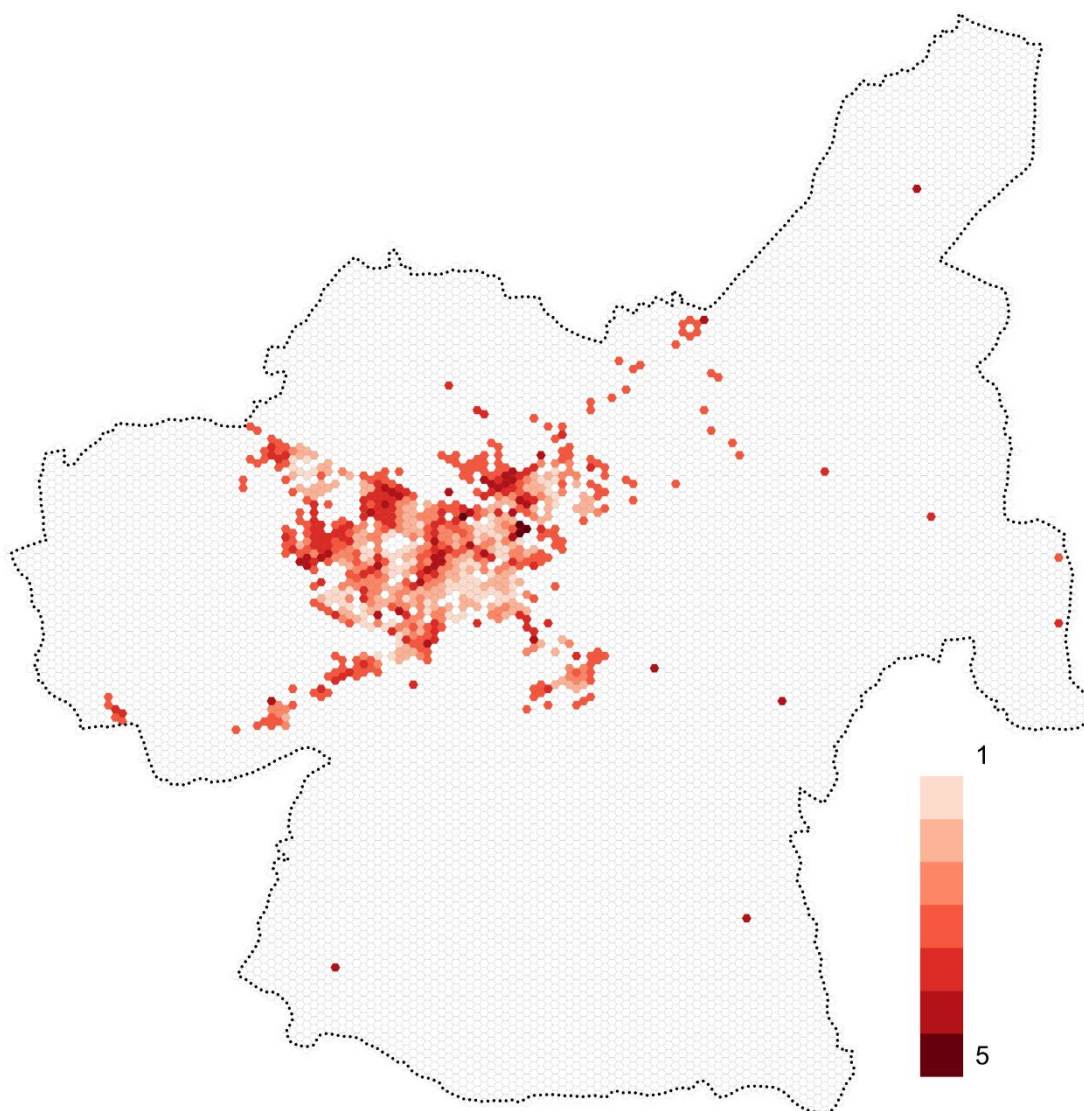


Figura 17 - Mappa della componente "Vulnerabilità"

## 5. Mappa del Rischio

Il *Rischio* è stato calcolato come il prodotto delle tre componenti descritte nei capitoli precedenti:

$$\text{Rischio} = \text{Pericolo} \times \text{Esposizione} \times \text{Vulnerabilità}$$

I valori ottenuti per ciascun esagono variano tra un minimo di 1 e un massimo teorico di 125 (risultante dal prodotto di tre fattori normalizzati su una scala da 1 a 5). La mappa risultante mostra un'intensità cromatica crescente con l'aumentare del livello di *Rischio*: gli esagoni più scuri indicano livelli di rischio più elevati, mentre quelli più chiari corrispondono a rischi minori.

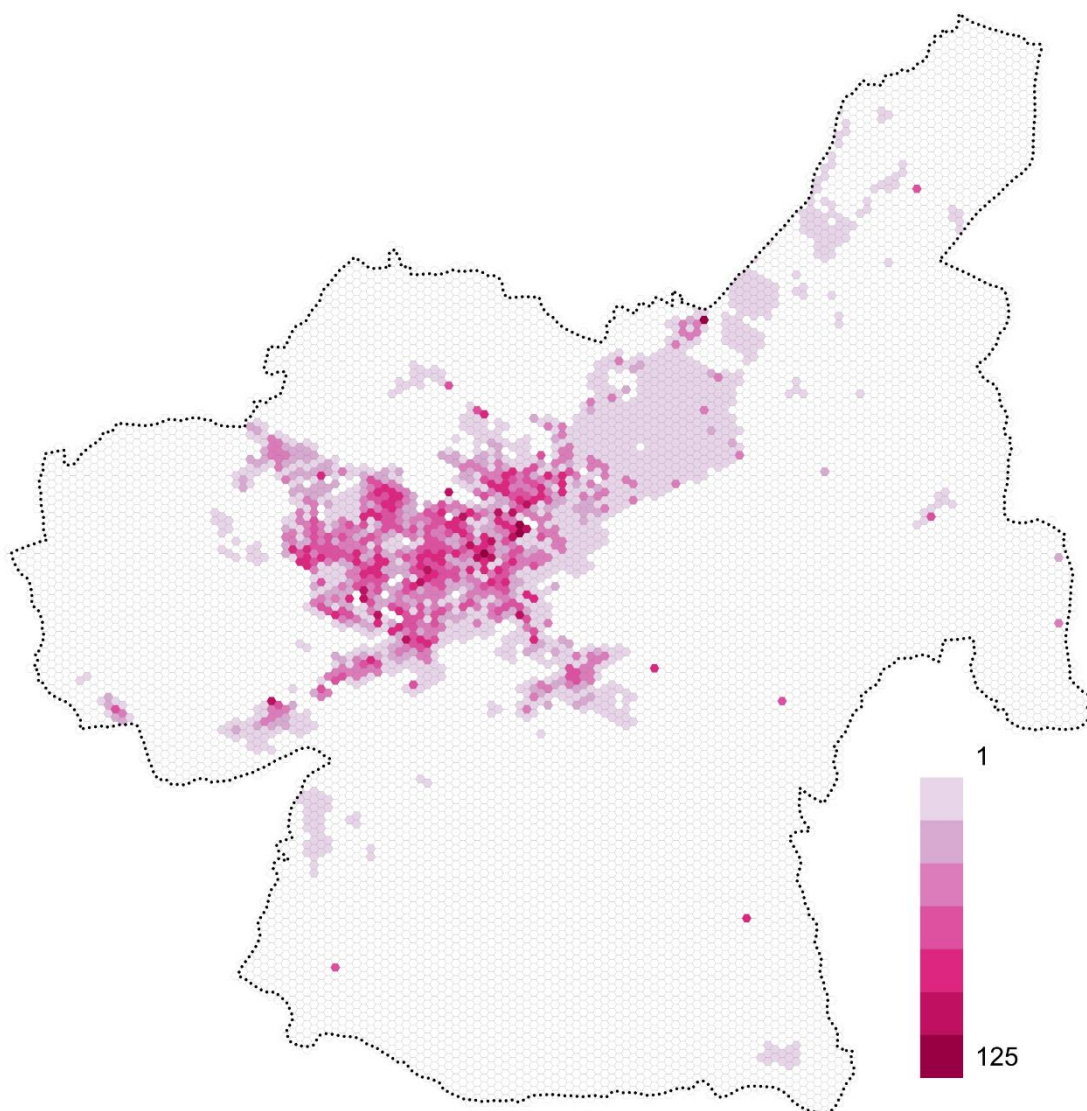


Figura 18 – Mappa del Rischio

Alcuni esempi di alto *Rischio* sono rapidamente riscontrabili nella zona del Centro Storico intorno a Piazza Federico II, nel quartiere San Giuseppe, nella parte nord-ovest della zona Smia.





Figura 19 - Mappa del rischio nel Centro Storico



Figura 20 - Mappa del rischio nella zona San Giuseppe

Questo studio rappresenta una base solida per definire una strategia di intervento. L'integrazione di ulteriori elementi, come l'analisi del valore ecosistemico del paesaggio e lo studio delle aree verdi pubbliche esistenti e potenziali, contribuirà a strutturare un sistema di azioni mirate ed efficaci.