Un approccio integrato di Earth Observation e dati geospaziali per l'identificazione delle isole di calore urbane: il caso studio di Genova

Monica De Martino[1][0000-0002-1963-3321], Alfonso Quarati[1][0000-0002-1801-3403], Silvia Gorni[2], Alessandra Marchese[2], Roderic Molina[2]

[1] CNR-IMATI — monica.demartino@ge.imati.cnr.it; alfonso.quarati@ge.imati.cnr.it
[2] GISIG — s.gorni@gisig.it; a.marchese@gisig.it; r.molina@gisig.it

Abstract. L'articolo presenta una procedura GIS basata su dati satellitari per caratterizzare le isole di calore urbane superficiali (SUHI) a Genova. L'analisi integra la LST derivata da Landsat 9, la copertura del suolo e il DTM TINITALY per selezionare aree rurali di riferimento nella fascia altimetrica 0–150 m. L'intensità SUHI (SUHII) è stimata come differenza tra la LST e la temperatura media rurale di riferimento. I risultati preliminari dimostrano la fattibilità della procedura.

Parole chiave: isola di calore urbana superficiale; temperatura superficiale del suolo; Landsat 9; modello digitale del terreno; riferimento rurale.

1 Introduzione e obiettivi

La temperatura superficiale del suolo (Land Surface Temperature, LST) descrive la temperatura radiometrica delle superfici terrestri osservata nell'infrarosso termico al momento del passaggio del satellite. I materiali superficiali, la vegetazione, la geometria urbana e le condizioni meteorologiche contribuiscono alla sua variabilità spaziale (Voogt e Oke, 2003; Weng et al., 2004). La LST si distingue dalla temperatura dell'aria, poiché le due grandezze descrivono ambienti termici e processi fisici differenti. Il fenomeno dell'isola di calore urbana superficiale (SUHI) è caratterizzato dal contrasto termico tra superfici urbane e aree rurali di riferimento, e la sua intensità (SUHII) è quantificata rispetto alla LST rurale media (Zhou et al., 2019).

L'identificazione e la caratterizzazione delle isole di calore urbane superficiali richiedono particolare attenzione alla selezione di aree rurali di riferimento adeguate, soprattutto nei territori con topografia complessa. A Genova, lo sviluppo urbano si concentra lungo la costa e nel fondovalle, mentre le aree non urbanizzate si estendono rapidamente verso quote più elevate. Studi precedenti hanno esaminato l'impiego di dati e servizi Copernicus per monitorare il fenomeno UHI nell'area metropolitana genovese (Apicella et al., 2021). In un contesto geografico di questo tipo, le differenze di temperatura tra aree urbane e rurali possono riflettere non soltanto le variazioni di copertura del suolo, ma anche l'influenza dell'altitudine. La metodologia proposta

combina pertanto informazioni LULC, distanza dalle superfici antropizzate e quote derivate dal DTM per supportare la selezione delle aree rurali di riferimento.

Questo articolo presenta un'applicazione preliminare della metodologia al Comune di Genova, sviluppata nell'ambito di uno studio di fattibilità tecnica. La valutazione ha confrontato diverse fonti di dati termici satellitari disponibili: Landsat offre una lunga serie storica e un dettaglio spaziale relativamente elevato, adatto alle analisi urbane; MODIS fornisce osservazioni più frequenti ma a risoluzione spaziale inferiore; ASTER offre acquisizioni dettagliate ma meno regolari. Per il caso studio è stato selezionato Landsat 9, utilizzando un prodotto di temperatura superficiale Collection 2 Level-2 acquisito il 3 marzo 2025.

L'analisi si concentra sulla fascia altimetrica 0–150 m, che comprende gran parte del territorio urbanizzato di Genova. Limitare il confronto a tale fascia mira a ridurre l'influenza delle differenze di quota sulla stima delle anomalie termiche superficiali. Lo studio valuta la fattibilità dell'integrazione della LST satellitare con informazioni geospaziali e morfologiche per la mappatura delle SUHI. Questo lavoro fornisce una base metodologica per le successive attività del progetto SAT4UHI, finalizzato allo sviluppo di una piattaforma geospaziale intelligente per identificare, analizzare e monitorare le isole di calore urbane mediante l'integrazione di dati di osservazione della Terra e informazioni ambientali, territoriali e socioeconomiche a supporto della pianificazione urbana e delle strategie di adattamento climatico.

2 Area di studio e fonti dei dati

L'area di studio comprende il Comune di Genova, caratterizzato da una fascia costiera densamente urbanizzata e da una topografia complessa, con valli, versanti e rilievi montuosi distribuiti su distanze relativamente brevi. Questa configurazione geografica rende l'altitudine particolarmente rilevante nel confronto tra le temperature superficiali delle aree urbane e rurali.

L'altimetria è rappresentata dal DTM TINITALY, con griglia di 10 m (Figura 1). I dati LULC forniti dalla Regione Liguria sono utilizzati per distinguere le superfici artificiali dalle aree non urbanizzate (Figura 2). Insieme, questi dataset supportano l'identificazione spaziale delle superfici urbane e la selezione di aree rurali di riferimento idonee.

Il dataset termico è costituito dal prodotto di temperatura superficiale Landsat 9 Collection 2 Level-2 acquisito il 3 marzo 2025. Il prodotto fornisce i valori di LST utilizzati per caratterizzare la distribuzione spaziale delle temperature superficiali e calcolare le differenze di temperatura tra aree urbane e rurali.

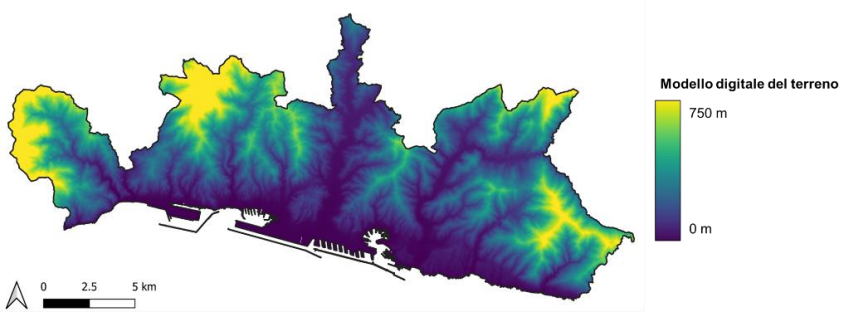

Fig. 1. DTM del Comune di Genova. Fonte: TINITALY (INGV); risoluzione spaziale: 10 m.

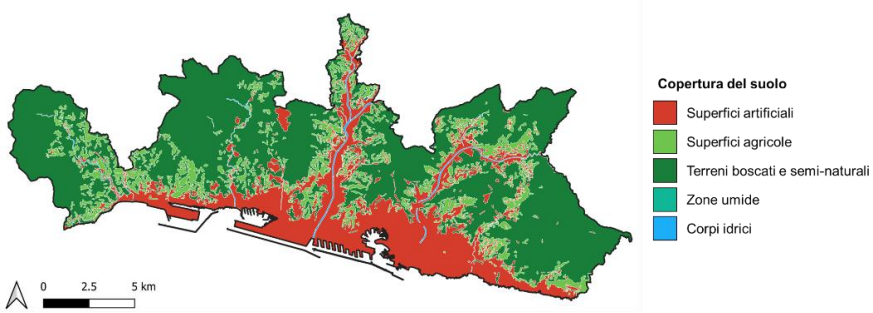

Fig. 2. Uso e copertura del suolo (LULC) nel Comune di Genova. Fonte: Geoportale della Regione Liguria. Le classi comprendono superfici artificiali, terreni agricoli, aree boscate e seminaturali, zone umide e corpi idrici.

3 Materiali e metodi

La procedura GIS proposta integra la LST derivata da satellite, le informazioni LULC e l'altimetria per individuare aree rurali di riferimento idonee e produrre mappe di SUHII. La fonte termica è la banda ST_B10 dell'acquisizione Landsat 9 Collection 2 Level-2 del 3 marzo 2025. La LST è ottenuta applicando ai valori del prodotto il fattore di scala e l'offset documentati dall'USGS. Le elaborazioni spaziali utilizzano pixel validi e un sistema di riferimento coerente per integrare dati termici, carta di copertura del suolo e modello digitale del terreno.

Il flusso di lavoro della Figura 3 distingue il percorso Level-2 impiegato in questo studio da un possibile percorso Level-1, riportato per completezza metodologica. Tutte le elaborazioni e i risultati discussi di seguito derivano esclusivamente dal prodotto Level-2.

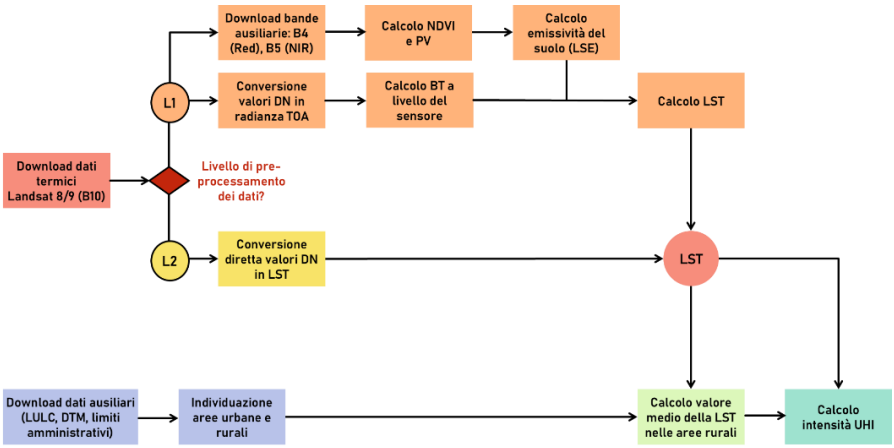

Fig. 3. Flusso generale di elaborazione. Il caso studio segue il percorso Landsat Level-2; quello Level-1 è mostrato soltanto come alternativa metodologica.

La selezione delle aree rurali di riferimento combina tre criteri complementari: copertura del suolo, distanza dalle superfici antropizzate e altitudine. La carta LULC viene utilizzata per identificare le superfici artificiali e le aree rurali candidate tra le classi non urbanizzate. Le aree prossime alle superfici antropizzate sono escluse dalla selezione del riferimento rurale mediante un buffer, al fine di limitarne la potenziale influenza termica. La selezione è inoltre limitata alla fascia altimetrica 0–150 m, individuata mediante il DTM. Tale vincolo mira a ridurre le differenze di quota tra superfici urbane e aree rurali di riferimento, che potrebbero altrimenti influenzare l'interpretazione del contrasto termico osservato.

La LST media delle aree rurali di riferimento selezionate, $\overline{LST}_{\text{rurale}}$, costituisce il riferimento termico della scena. Per ogni pixel valido x nella fascia altimetrica 0–150 m, la SUHII è calcolata come:

$$SUHII(x) = LST(x) - \overline{LST}_{\text{rurale}}$$

Un valore positivo identifica una superficie più calda della media rurale, mentre un valore negativo indica una superficie più fredda. La differenza per i pixel urbani caratterizza l'intensità dell'effetto SUHI.

4 Risultati

Le mappe DTM e LULC (Figure 1 e 2) forniscono il contesto geografico per interpretare i pattern termici superficiali, evidenziando i marcati gradienti altimetrici e la vicinanza delle aree costiere urbanizzate ai versanti vegetati.

La Figura 4 mostra la distribuzione spaziale della LST derivata dall'acquisizione Landsat 9 Level-2 del 3 marzo 2025. La mappa illustra la variabilità spaziale della temperatura superficiale al momento del passaggio satellitare, fornendo le informazioni termiche utilizzate per la successiva analisi SUHI.

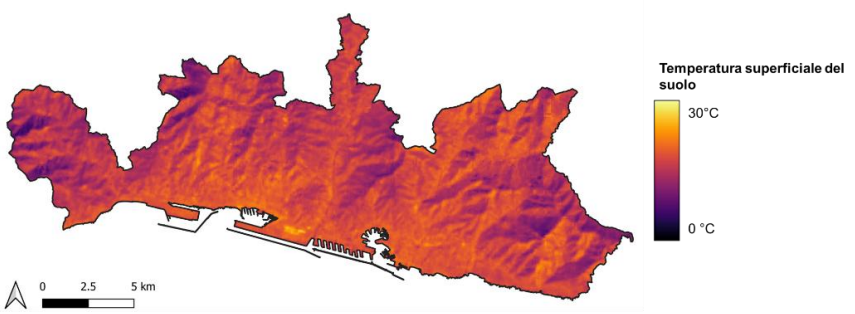

Fig. 4. LST nel Comune di Genova il 3 marzo 2025, derivata da Landsat 9 Level-2, ST_B10. Fonte: USGS.

La Figura 5 mostra le superfici urbane e le aree rurali di riferimento individuate applicando i criteri LULC, distanza e altitudine. La selezione ottenuta fornisce i pixel rurali utilizzati per calcolare la temperatura media di riferimento per la fascia altimetrica 0–150 m.

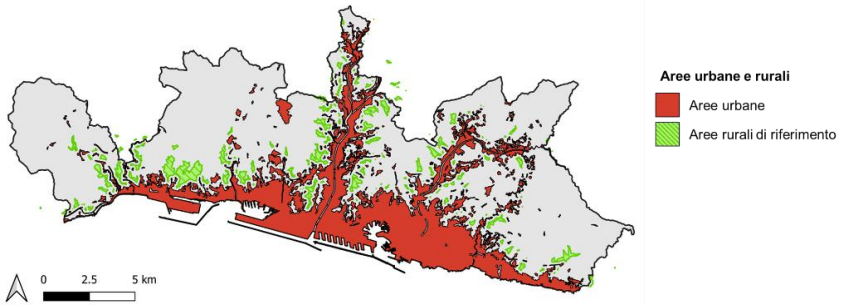

Fig. 5. Superfici urbane e aree rurali di riferimento selezionate nel Comune di Genova, individuate mediante criteri di copertura del suolo, distanza e altitudine. Il rosso indica le aree urbane e il verde quelle rurali di riferimento.

La Figura 6 presenta la distribuzione spaziale della SUHII calcolata rispetto alla LST media delle aree rurali di riferimento selezionate. I valori positivi indicano superfici più calde del riferimento rurale, mentre quelli negativi indicano superfici più fredde. La mappa risultante illustra la SUHII nella fascia altimetrica 0–150 m per l'acquisizione satellitare considerata.

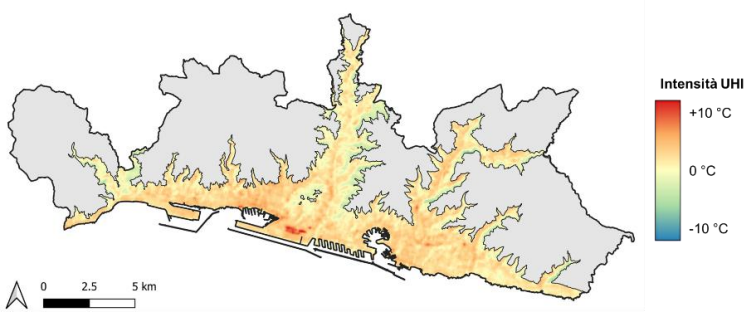

Fig. 6. Distribuzione spaziale dell'intensità SUHI a Genova il 3 marzo 2025 nella fascia altimetrica 0–150 m.

La Figura 7 presenta un'integrazione esplorativa tra LST e dati sulla popolazione residente a livello di unità territoriale. La LST media è rappresentata dal colore, mentre la dimensione dei simboli indica il numero di residenti. Questa visualizzazione fornisce un primo quadro della distribuzione spaziale delle temperature superficiali in relazione alla popolazione, senza implicare una correlazione statisticamente validata né una valutazione diretta della vulnerabilità della popolazione.

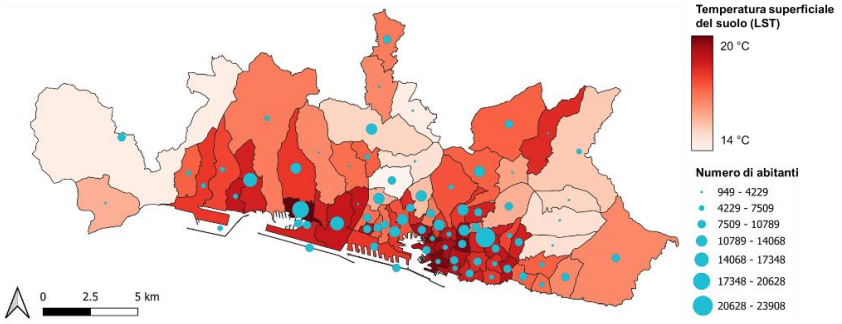

Fig. 7. Distribuzione spaziale della LST media e della popolazione residente per unità territoriale a Genova. Il colore rappresenta la LST media, mentre la dimensione dei simboli indica il numero di residenti.

5 Conclusioni e sviluppi futuri

Lo studio dimostra la fattibilità operativa dell'integrazione della LST Landsat 9 Level-2, dei dati LULC e dell'altimetria derivata dal DTM per caratterizzare il fenomeno SUHI e stimarne l'intensità a Genova. La selezione delle aree rurali di riferimento basata su copertura del suolo, distanza dalle superfici antropizzate e altitudine fornisce una base territoriale esplicita per stimare le differenze di temperatura superficiale tra aree urbane e rurali. Limitare l'analisi alla fascia altimetrica 0–150 m mira a contenere l'influenza delle differenze di quota sul confronto termico urbano-rurale, sebbene possano permanere altri effetti topografici. I risultati sono preliminari e

si riferiscono a una sola acquisizione satellitare del 3 marzo 2025 e alla fascia altimetrica 0–150 m.

Ulteriori indagini sono necessarie per valutare la robustezza della metodologia, in particolare la sensibilità delle stime SUHII ai criteri di selezione del riferimento rurale, alla distanza del buffer e alle soglie altimetriche. Analisi multi-temporali basate su acquisizioni satellitari ripetute, insieme a una validazione indipendente, saranno essenziali per caratterizzare la variabilità spaziale e temporale del fenomeno.

Questo lavoro costituisce una base metodologica per le successive attività del progetto SAT4UHI, che amplieranno l'analisi integrando ulteriori dati ambientali, territoriali e socioeconomici. Gli sviluppi futuri comprenderanno lo studio delle relazioni tra pattern termici superficiali e caratteristiche urbane, la definizione di indicatori di vulnerabilità e resilienza e l'esplorazione di tecniche di intelligenza artificiale e apprendimento automatico (AI/ML) per l'analisi spazio-temporale. L'obiettivo finale è supportare la pianificazione urbana e le strategie di adattamento climatico attraverso una piattaforma GIS integrata e un sistema di supporto alle decisioni (DSS).

Riferimenti bibliografici

1. Apicella, L., Quarati, A., De Martino, M. (2021). Analysing the Surface Urban Heat Island Effect with Copernicus Data. In: Kö, A., Francesconi, E., Kotsis, G., Tjoa, A. M., Khalil, I. (eds.), Electronic Government and the Information Systems Perspective (EGOVIS 2021). Lecture Notes in Computer Science, vol. 12926, pp. 61–72. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86611-2_5
2. INGV (n.d.). TINITALY DEM. https://tinitaly.pi.ingv.it/
3. Liguria Region (n.d.). Liguria Region Geoportal. https://geoportal.regione.liguria.it/
4. USGS (n.d.). Landsat Collection 2 Surface Temperature. https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-surface-temperature
5. Voogt, J. A., Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. Remote Sensing of Environment, 86(3), 370–384. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8
6. Weng, Q., Lu, D., Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. Remote Sensing of Environment, 89(4), 467–483.
7. Zhou, D., Xiao, J., Bonafoni, S., Berger, C., Deilami, K., Zhou, Y., Frolking, S., Yao, R., Qiao, Z., Sobrino, J. A. (2019). Satellite remote sensing of surface urban heat islands: Progress, challenges, and perspectives. Remote Sensing, 11(1), 48. https://doi.org/10.3390/rs11010048

Informazioni sul progetto

SAT4UHI – «Piattaforma intelligente per l'identificazione, l'analisi e la gestione delle isole di calore urbane», coordinato da ABIRK Italia S.r.l. e finanziato dalla Regione Liguria nell'ambito del PR FESR 2021–2027, Azione 1.1.1.