

Il ruolo dei dati satellitari multi-sensore di Land Surface Temperature a supporto delle strategie di greening. Il caso di Ouagadougou, Burkina Faso

Elena Corona¹, Fabio Giulio Tonolo², Elena Belcore³, Roberto Fontana⁴

¹ Politecnico di Torino, DIST, elena.corona@polito.it

² Politecnico di Torino, DAD, fabio.giuliotonolo@polito.it

³ Politecnico di Torino, DIATI, elena.belcore@polito.it

⁴ Politecnico di Torino, DISMA, roberto.fontana@polito.it

Keywords

ECOSTRESS; Landsat; Land Surface Temperature; aggregazione spaziale.



1. INTRODUZIONE

Le regioni calde semiaride sempre più esposte a temperature potenzialmente pericolose per la salute pubblica [1,2]. Comprendere la distribuzione spaziale del calore in relazione al Land Use Land Cover (LULC) è fondamentale per definire strategie di adattamento efficaci ed eque. La temperatura telerilevata della superficie terrestre (LST) rappresenta uno strumento chiave per analizzare i pattern termici. Tuttavia, nelle zone calde semiaride, la disponibilità e la qualità dei dati termici sono spesso limitate, a causa della limitata risoluzione temporale e delle condizioni atmosferiche (nuvole, polvere) [3]. Questo lavoro integra dati termici multi-sensore aggregati spazialmente, informazioni relative al LULC e modellazione statistica, con l'obiettivo di supportare strategie di greening finalizzate alla riduzione della temperatura. La metodologia è stata applicata a Ouagadougou (Burkina Faso).

2. MATERIALI E METODOLOGIA

L'analisi della LST si basa sull'integrazione di dati termici satellitari acquisiti dai sensori Operational Land Imager (OLI) e Thermal Infrared Sensor (TIRS) sui satelliti Landsat [4] e dal sensore sperimentale ECOSystem Spaceborne Thermal Radiometer Experiment on Space Station (ECOSTRESS) [5], installato sulla Stazione Spaziale Internazionale.

L'integrazione ha permesso di compensare la scarsità di dati disponibili e di incorporare la dimensione temporale, consentendo l'analisi della variabilità della LST in fun-

zione della data e dell'orario di acquisizione.

Tuttavia, le differenze di risoluzione spaziale, temporale e orario di passaggio tra i due sensori pongono sfide significative per il loro uso integrato. Per questo motivo, i dataset non sono stati validati confrontando le misurazioni a livello di pixel, ma utilizzati a scala aggregata per analizzare i pattern spaziali e temporali della LST.

La LST media è stata calcolata su due scale spaziali: i settori amministrativi, più adatti per supportare azioni e strategie efficaci ed eque, e griglia di 500x500 m, usata per analizzare la variabilità della LST a scala maggiore e omogenea. In questo modo è stato possibile confrontare i risultati a diverse scale e ridurre gli effetti delle diverse risoluzioni, garantendo la coerenza tra i dati.

Il Land Cover è stato estratto con una classificazione supervisionata di un'immagine multispettrale ad alta risoluzione PlanetScope (risoluzione 3.7m), mentre il Land Use proviene da informazioni ufficiali e dati fotointerpretati da immagini ad altissima risoluzione disponibili su Google Earth Pro.

Le classi di LULC sono state aggregate alle stesse unità spaziali utilizzate per la LST, per garantire coerenza nell'analisi della loro influenza sulla LST media. La relazione tra LST e copertura del suolo è stata analizzata con un modello di regressione lineare multipla, includendo una variabile categorica "Day" [Equazione 1] per isolare la variabilità meteorologica giornaliera.

Dove LST_i rappresenta la LST media nel settore o nella cella della griglia i ($^{\circ}C$), Day_d indica data di acquisizione, Barren, TreeCanopy, e Roads rappresentano la percentuale di copertura del suolo nel settore o nella cella della

$$LST_i = \beta_0 + \sum_{d=1}^{n-1} \beta_d Day_d + \beta_1 Barren_i + \beta_2 TreeCanopy_i + \beta_3 Roads_i + \varepsilon_i,$$

Equazione 1

griglia i ($0-1$), ε_i è il termine di errore residuo. Sono state testate versioni estese del modello per verificare la stabilità delle relazioni tra LST e *Land Cover* introducendo termini di interazioni con i diversi giorni di acquisizione e una nuova variabile relativa al momento di acquisizione (mattina/pomeriggio).

3. RISULTATI

Sono state acquisite 14 immagini Landsat e 10 ECO-STRESS nei mesi mediamente più caldi (aprile - maggio) del periodo 2021–2025. I pixel non affidabili sono stati esclusi sulla base degli indicatori di qualità (QC). I valori medi della LST calcolati alle due scale spaziali risultano altamente coerenti (**Figura 1**), con differenze inferiori a 1

°C in ciascun giorno analizzato, indicando che le strutture termiche spaziali della città sono stabili tra le diverse unità di analisi. L'aggregazione per griglia evidenzia le variazioni a scala maggiore, con una deviazione standard più elevata (≈ 2 °C rispetto a ≈ 1.7 °C).

Il modello di regressione semplificato [**Equazione 1**], calcolato sia per settori sia per griglia 500x500 m, ha rivelato una relazione forte e coerente tra LST media e variabili relative alla copertura del suolo, confermando la solidità dei risultati. Entrambi i modelli sono statisticamente significativi ($p < 0,001$) e mostrano un elevato valore esplicativo (adj. $R^2 = 0.75-0.86$). Su entrambe le scale, il suolo nudo aumenta la LST (+0.03 °C per setto-

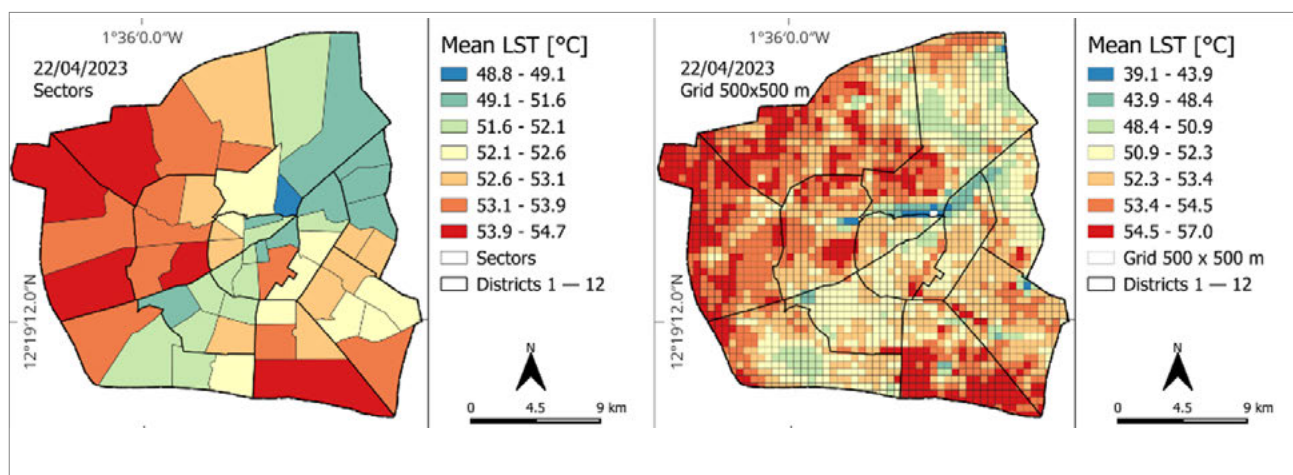


Fig.1. Land Surface Temperature media per settori (sinistra) e per griglia 500x500 m (destra).

re, +0.02 °C per griglia), mentre la copertura arborea la riduce (-0.06 °C, -0.05 °C rispettivamente); entrambi gli effetti sono statisticamente significativi. Le strade con larghezza superiore a 18 m mostrano effetti più deboli e meno consistenti. Il modello semplifica l'interpretazione, evidenziando la relazione generale. Si assume che gli effetti delle variabili di copertura del suolo siano costanti tra i giorni, con conseguenti pendenze parallele e intercette diverse, che riflettono la variabilità meteorologica giornaliera (**Figura 2**).

Il modello esteso, che include i termini di interazione tra la variabile categoriale "Day" e le variabili di Land Cover, conferma la stabilità delle relazioni, spiegando circa l'1% in più di varianza rispetto al modello di base, senza alterare la struttura complessiva delle relazioni.

L'introduzione di una distinzione tra le acquisizioni mat-

tutine e pomeridiane mostra valori di LST mediamente più elevati nelle immagini pomeridiane, mantenendo sostanzialmente invariate le relazioni con LULC.

4. CONCLUSIONI

I risultati confermano la robustezza dell'approccio multi-sensore adottato per l'analisi della LST, evidenziando relazioni stabili e coerenti con la copertura del suolo anche in presenza di variabilità temporale.

L'integrazione di dati termici multi-sensore consente di analizzare un numero di acquisizioni statisticamente significativo. Inoltre, in combinazione con l'analisi LULC e la modellazione statistica, permette non solo di descrivere i pattern termici, ma anche di supportare l'individuazione di aree prioritarie per interventi di greening basati su evidenze.

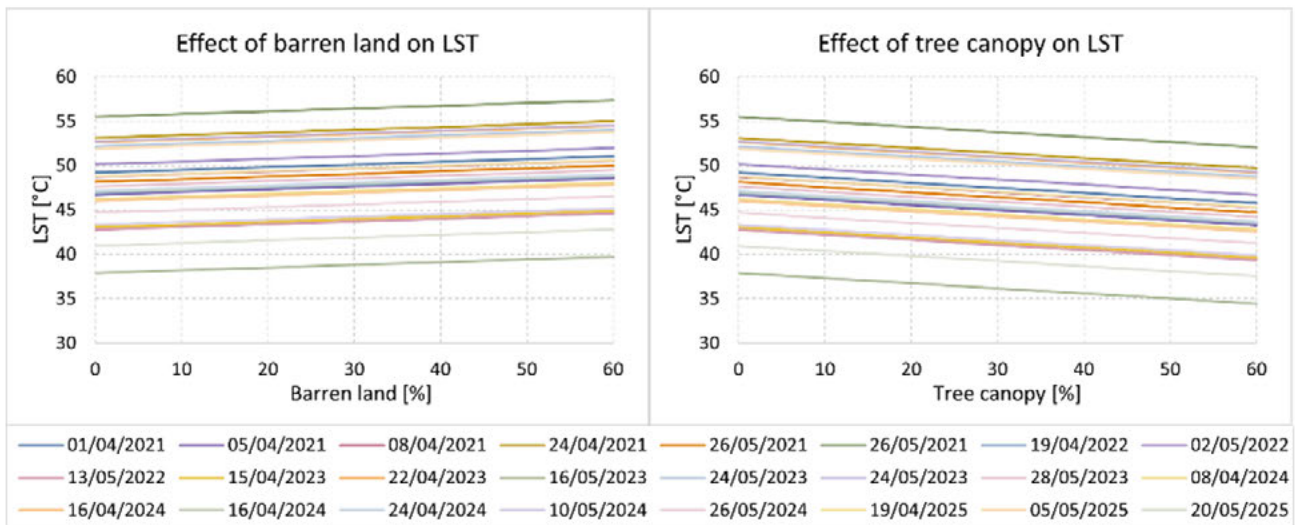


Fig.2 Relazione tra LST e suolo nudo (sinistra) e copertura arborea (destra).

Riferimenti bibliografici

- [1] Ebi, K.L.; Capon, A.; Berry, P. et al. Hot Weather and Heat Extremes: Health Risks. *Lancet* 2021, 398, 698–708. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01208-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01208-3).
- [2] Avashia, V.; Garg, A.; Dholakia, H. Understanding Temperature Related Health Risk in Context of Urban Land Use Changes. *Landsc. Urban Plan.* 2021, 212, 104107. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104107>.
- [3] Arabi Aliabad, F., Ghaderpour, E., Mazidi, A., & Houshmandzade, F. Gap-filling of land surface temperature in arid regions by combining Landsat 8 and 9 imageries. *Environ. Res. Communic.* 2024, 6(10), 105037. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ad898e>.
- [4] U.S. Geological Survey. Landsat 8–9 Collection 2 Level 2 Science Product Guide. Sioux Falls, SD, USA, 2023. https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/media/files/LSDS-1619_Landsat8-9-Collection2-Level2-Science-Product-Guide-v6.pdf
- [5] Hulley, G.; Freepartner, R. ECOSystem Spaceborne Thermal Radiometer Experiment on Space Station (ECOSTRESS) Mission. Level 2 Product User Guide. https://lpdaac.usgs.gov/documents/1574/ECOL2_User_Guide_V2.pdf