

Atti della XXIII Conferenza Nazionale SIU - Società Italiana degli Urbanisti

DOWNSCALING, RIGHTSIZING. Contrazione demografica e riorganizzazione spaziale

Torino, 17-18 giugno 2021

INNOVAZIONE TECNOLOGICA PER LA RIORGANIZZAZIONE SPAZIALE

A cura di

Beniamino Murgante, Elena Pede, Maurizio Tiepolo

**Società italiana
degli urbanisti** **SIU**



PLANUM PUBLISHER | www.planum.net

Planum Publisher e Società Italiana degli Urbanisti

ISBN: 978-88-99237-36-3

DOI: 10.53143/PLM.C.921

I contenuti di questa pubblicazione sono rilasciati
con licenza Creative Commons, Attribuzione -
Non commerciale - Condividi allo stesso modo 4.0
Internazionale (CC BY-NC-SA 4.0)



Volume pubblicato digitalmente nel mese di aprile 2021

Pubblicazione disponibile su www.planum.net |

Planum Publisher | Roma-Milano

09 INNOVAZIONE TECNOLOGICA PER LA RIORGANIZZAZIONE SPAZIALE

A cura di
Beniamino Murgante, Elena Pede, Maurizio Tiepolo

Atti della XXIII Conferenza Nazionale SIU

Società Italiana degli Urbanisti

DOWNSCALING, RIGHTSIZING.

Contrazione demografica e riorganizzazione spaziale

Torino, 17-18 giugno 2021

Responsabile scientifico

Claudia Cassatella

Comitato scientifico, Giunta Esecutiva della Società Italiana degli Urbanisti 2018-2020 e 2020-2021

Maurizio Tira (Presidente), Maurizio Carta, Claudia Cassatella, Giovanni Caudo, Paolo La Greca, Giovanni Laino, Laura Lieto, Anna Marson, Maria Valeria Mininni, Stefano Munarin, Gabriele Pasqui, Camilla Perrone, Marco Ranzato, Michelangelo Russo, Corrado Zoppi

Comitato locale, Dipartimento Interateneo di Scienze, Politiche e Progetto del Territorio del Politecnico e Università di Torino

Cristina Bianchetti, Grazia Brunetta, Ombretta Caldarice, Nadia Caruso, Federica Corrado, Giancarlo Cotella, Antonio di Campi, Carolina Giaimo, Umberto Janin Rivolin, Fabrizio Paone, Elena Pedè, Angelo Sampieri, Loris Servillo, Luca Staricco, Maurizio Tiepolo, Ianira Vassallo, Angioletta Voghera

Progetto grafico

Federica Bonavero

Redazione Planum Publisher

Cecilia Maria Saibene (Coordinamento), Teresa di Muccio, Laura Infante, Marco Norcaro

Il volume presenta i contenuti della Sessione 09, "Innovazione tecnologica per la riorganizzazione spaziale"
Chair: Beniamino Murgante (Università degli Studi della Basilicata, Scuola di Ingegneria - SI-UniBas)
Co-Chair: Elena Pedè, Maurizio Tiepolo (Politecnico di Torino, Dipartimento Interateneo di Scienze, Progetto e Politiche del Territorio - DIST)

Ogni paper può essere citato come parte di Murgante B., Pedè E., Tiepolo M. (a cura di, 2021), *Innovazione tecnologica per la riorganizzazione spaziale. Atti della XXIII Conferenza Nazionale SIU DOWNSCALING, RIGHTSIZING. Contrazione demografica e riorganizzazione spaziale, Torino, 17-18 giugno 2021*, vol. 09, Planum Publisher e Società Italiana degli Urbanisti, Roma-Milano 2021.

INDICE

- 7 **Innovazione tecnologica per la riorganizzazione spaziale. Introduzione** · Beniamino Murgante, Elena Pede, Maurizio Tiepolo

Gestire il patrimonio

- 10 **Dal B.I.M. (Building Information Modeling) al C.I.M. (City Information Modeling)** · Federica Montalto, Giuseppe d'Agostino
- 16 **Parametri quantitativi per la determinazione del “fenomeno dismissivo”** · Nicole Margiotta
- 22 **Opportunità di innovazione nella gestione del patrimonio della Città Pubblica. Il caso pugliese** · Giovanna Mangialardi, Nicola Martinelli, Giulia Spadafina

Smart planning e tutela del territorio

- 31 **Remote sensing e spatial modelling per strategie di adattamento ai cambiamenti climatici: caso studio Valle Savio** · Gianfranco Pozzer, Denis Maragno, Filippo Magni, Francesco Musco
- 45 **L'innovazione tecnologica e le performance dei processi di governo del territorio: l'applicazione degli strumenti gis-based per la VAS dalle Regioni alle Città Metropolitane** · Chiara Di Dato, Federico Falasca, Alessandro Marucci
- 52 **Dalla Smart City alla Cognitive City: le tecnologie digitali e ambientali per la prospettiva inclusiva delle comunità resilienti** · Dario Esposito, Giuseppe Milano, Roberta Redavid
- 58 **Nuove tecniche e paradigmi per la pianificazione e progettazione urbanistica. Scenari ecosistemici per l'area Basse di Stura a Torino** · Carolina Giaimo, Giulio Gabriele Pantaloni, Valeria Vitulano, Carlo Alberto Barbieri
- 66 **Distribuzione spaziale delle temperature superficiali e coperture dei suoli. Uno studio riguardante la Regione Sardegna** · Sabrina Lai, Federica Leone, Corrado Zoppi

Ripensare la forma urbana attraverso i dati

- 75 **La città adattiva. Strumenti e metodi di analisi del grado di eterogeneità urbana** · Alessandro Seravalli
- 81 **Progettare attraverso i dati. Infrastrutture, piattaforme logistiche, spazi per la produzione e new towns** · Leonardo Ramondetti
- 90 **La città scompare tra gentrification ed individualizzazione “smart”?** · Stefano Aragona
- 98 **Gli effetti spaziali dell'e-commerce B2c nelle aree urbane: una literature review** · Stefano Saloriani
- 107 **Spazi pubblici 2.0. Applicazioni smart nello spazio aperto** · Pierfrancesco Celani
- 114 **Ripensare e rigenerare i territori: analisi di rete per lo sviluppo innovativo delle città** · Maria Somma

Strumenti innovativi per la co-costruzione

- 121 **La governance nella smart tourist destination: le tecnologie digitali a supporto della co-progettazione del sistema a rete** · Sara Carciotti
- 127 **Le piattaforme digitali e la terza missione al servizio dei contesti in sovraccarico e sotto carico turistico (overtourism & undertourism): territorio bellunese e Dolomiti UNESCO** · Olga Tzatzadaki
- 134 **Palinsesto Roma: dal cultural mapping alla costruzione di ecosistemi collaborativi per la valorizzazione del patrimonio e delle risorse culturali del territorio** · Stefano Simoncini, Luciano De Bonis
- 142 **Web-based participatory mapping: so much out there, but do we have what we really need?** · Aubrey Toldi, Laura Saija
- 148 **Innovazione tecnologica e partecipazione prefigurativa al governo della trasformazione urbana** · Romano Fistola, Andrea Rastelli, Ida Zingariello

Distribuzione spaziale delle temperature superficiali e coperture dei suoli. Uno studio riguardante la Regione Sardegna

Sabrina Lai

Università degli Studi di Cagliari
Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura (DICAAR)
Email: sabrinalai@unica.it

Federica Leone

Università degli Studi di Cagliari
Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura (DICAAR)
Email: federicaleone@unica.it

Corrado Zoppi

Università degli Studi di Cagliari
Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura (DICAAR)
Email: zoppi@unica.it

Abstract

La temperatura superficiale del suolo (*Land Surface Temperature*, LST) è una variabile climatica molto importante, analizzata principalmente su scala urbana e con riferimento alle isole di calore. L'approccio metodologico sviluppato in questo studio combina analisi GIS e analisi basate su modelli di regressione allo scopo di studiare e interpretare le relazioni tra processi di urbanizzazione, caratterizzati da coperture dei suoli estrapolati dai dati del progetto Copernicus, e la LST, ottenuta attraverso il processamento delle immagini satellitari Landsat 8. In riferimento alla Regione Sardegna, lo studio mostra come i processi di urbanizzazione e le dinamiche spaziali dei fenomeni di riscaldamento del suolo siano strettamente connessi: le aree caratterizzate da coltivazione intensiva mostrano un comportamento molto simile alle aree urbanizzate, mentre le aree forestali fanno rilevare la massima efficacia nella mitigazione della LST, seguite dalle aree a macchia mediterranea. Da questo studio scaturiscono una serie di raccomandazioni che i decisori potrebbero seguire per mitigare l'aumento della LST su scala regionale e che, in linea di principio, potrebbero essere replicate in altre regioni con clima e coperture del suolo simili a quelli della Sardegna. L'aspetto innovativo di questo studio è rappresentato da un nuovo approccio all'analisi della relazione tra LST e coperture del suolo che utilizza dati spaziali liberamente disponibili e, pertanto, è replicabile in altri contesti regionali.

Parole chiave: spatial planning, land use, climate change

1 | Introduzione

Negli ultimi decenni, lo sviluppo economico e sociale ha comportato profondi e veloci cambiamenti che hanno caratterizzato le dinamiche delle coperture dei suoli a livello internazionale (Nguyen, Lin & Chan, 2019), non solo in termini di rapida urbanizzazione ma, anche di antropizzazione spinta (Kim & Baik, 2005).

I cambiamenti della copertura del suolo, e specialmente le transizioni da aree naturali e semi-naturali a coperture del suolo artificiali, influenzano le temperature locali (Feizizadeh, Blaschke, Nazmfar, Akbari & Kohbanani, 2013). Infatti, sebbene le aree urbane e le zone limitrofe ricevano la stessa quantità di radiazione solare, le temperature locali differiscono a causa delle diverse capacità termiche dei materiali (Fonseka, Zhang, Sun, Su, Lin & Lin, 2019). Da questo profilo, la *Land Surface Temperature* (LST) si configura come un parametro rilevante per investigare gli effetti delle coperture dei suoli sulle temperature locali.

Hofierka, Gallay, Onačillová & Hofierka (2020) definiscono la LST come la “temperatura cutanea del suolo”, influenzata dalla riflettanza solare, dall'emissività termica e dalla capacità termica. Capire come i processi che generano cambiamenti nella copertura del suolo influiscono sul clima rappresenta un elemento chiave nel dibattito internazionale (Wang, Li, Myint, Zhao & Wentz, 2019). L'influenza dei cambiamenti dell'uso e della copertura dei suoli sulla variazione della LST è stata studiata da diversi autori.

Feizizadeh et al. (2013), ad esempio, analizzano le relazioni tra LST e copertura/uso del suolo relativamente al caso di studio di Maraqeh County (Iran), usando un metodo che si basa sull'applicazione dell'algoritmo di bilancio dell'energia superficiale per il territorio alle immagini acquisite tramite il sensore *Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+)*. Zullo, Fazio, Romano, Marucci & Fiorini (2019) studiano la relazione tra la variazione della LST e l'aumento delle aree urbanizzate nella Valle del Po tra il 2001 e il 2011.

Benché la relazione tra copertura/uso del suolo e LST sia stata studiata da diversi autori, si rendono necessarie ulteriori analisi finalizzate all'acquisizione di parametri più accurati per esplorare questa relazione (Ding & Shi, 2013) ad una scala più ampia, in particolare per definire nuove strategie per le politiche del territorio, a livello regionale e locale, e per fronteggiare gli impatti dei cambiamenti climatici. Molti studi si concentrano, infatti, sulla scala urbana, indagando fenomeni quali le isole di calore o il gradiente di LST nel passaggio dall'urbano al periurbano, e concentrandosi dunque sugli impatti delle variazioni di copertura dei suoli sul clima locale.

In questo quadro teorico, questo studio analizza le relazioni tra copertura dei suoli e LST per valutare se, e fino a che punto, le coperture dei suoli e le loro transizioni influenzano la distribuzione spaziale dei fenomeni di riscaldamento alla scala regionale, con riferimento alla Sardegna.

Questo contributo è strutturato in quattro sezioni. La prima identifica il contesto teorico di riferimento e le problematiche che vengono affrontate, sia in termini teorici che tecnico-applicativi. La seconda descrive l'area di studio, i dati e la metodologia sviluppata. La terza presenta i risultati dell'applicazione della metodologia, che sono, infine, discussi nella quarta sezione. In quest'ultima, sono, inoltre, proposte alcune raccomandazioni in termini di strategie e politiche finalizzate alla mitigazione della LST.

2 | Area di studio, materiali e metodi

La Sardegna è una delle maggiori isole del bacino del Mediterraneo. Questa caratteristica consente di identificarne con immediatezza la collocazione geografica e la singolarità ed omogeneità climatiche, e ne rende particolarmente agevole lo studio per quanto riguarda la LST ed i fattori che la influenzano.

Le fonti dei dati utilizzate in questo studio sono le seguenti:

- immagini satellitari Landsat 8 OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), entrambe disponibili gratuitamente dal sito web della *Geological Survey* degli Stati Uniti¹. La Tabella I riporta l'elenco delle cinque immagini multibanda utilizzate. Si è scelto di utilizzare immagini relative alla stagione primaverile, piuttosto che a quella estiva, in modo da poter apprezzare meglio il contributo della vegetazione alla mitigazione delle LST. In estate, infatti, la vegetazione naturale erbacea, così come le colture annuali a seminato, con il disseccamento o il raccolto lasciano il suolo nudo, e in questi casi la LST dipende dalle caratteristiche dei suoli, oltre che da fattori quali esposizione o altimetria etc., senza, o con minima, influenza da parte della vegetazione;
- dati sulla copertura del suolo riferiti al 2018, classificati secondo la tassonomia CORINE Land Cover (CLC) al terzo livello (Kosztra et al., 2019) di dettaglio, forniti dal Servizio monitoraggio del suolo² del Programma per il monitoraggio globale per l'ambiente e la sicurezza Copernicus dell'Unione Europea;
- modello digitale del terreno (DTM), disponibile sul geoportale regionale della Sardegna³.

Tabella I | Immagini Landsat 8 *Operational Land Imager-Thermal Infrared Sensor* (OLI-TIRS) selezionate per lo studio.

Codice dell'immagine	Data	Scena
LC08_L1TP_193031_20190523_20190604_01_T2	23 Maggio 2019	193
LC08_L1TP_193032_20190523_20190604_01_T1	23 Maggio 2019	193
LC08_L1TP_193033_20190523_20190604_01_T1	23 Maggio 2019	193
LC08_L1TP_192032_20190516_20190521_01_T2	16 Maggio 2019	192
LC08_L1TP_192033_20190516_20190521_01_T1	16 Maggio 2019	192

¹ <https://earthexplorer.usgs.gov/> (Ultimo accesso 13/07/2020).

² Disponibili sul sito web: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018> (Ultimo accesso 13/07/2020).

³ Prodotto dalla Regione Sardegna a partire dal dato altimetrico della carta tecnica regionale, con risoluzione 10 m; il dato è liberamente scaricabile dalla relativa scheda di metadato: http://webgis2.regione.sardegna.it/catalogodati/card.jsp?uuid=R_SARDEG:JDCBN (Ultimo accesso 13/07/2020).

L'approccio metodologico, sintetizzato nella Figura 1, si compone di diverse fasi. Nella prima sono state elaborate le mappe raster della LST, delle coperture dei suoli riclassificate e dell'elevazione. Per quanto riguarda la LST, è stato utilizzato un plug-in del programma QGIS, sviluppato da Ndossi & Avdan (2016), che permette di elaborare ciascuna immagine riportata nella Tabella I secondo un processo che, per ciascun pixel, comprende i seguenti passi: i. calcolo della radianza spettrale dell'atmosfera; ii. conversione della radianza spettrale in temperatura di brillantezza; iii. calcolo dell'indice di vegetazione normalizzato (*Normalized Difference Vegetation Index*, NDVI); iv. calcolo dell'emissività superficiale del suolo (*Land Surface Emissivity*, LSE) attraverso l'algoritmo sviluppato da Zhang, Wang & Li (2006), basato sulla correlazione tra LST e NDVI; v. calcolo della LST tramite l'equazione di Planck (Artis & Carnahan, 1982)⁴. Sono state così ottenute cinque immagini raster della LST con risoluzione di 30 metri, una per ciascuna delle immagini elencate in Tabella I, successivamente fuse al fine di ottenere una mappatura della LST estesa all'intera regione. La mappatura raster regionale è stata, quindi, ricampionata al fine di ridurre gli sforzi computazionali nelle fasi successive, riducendo la dimensione dei pixel a 300 metri.

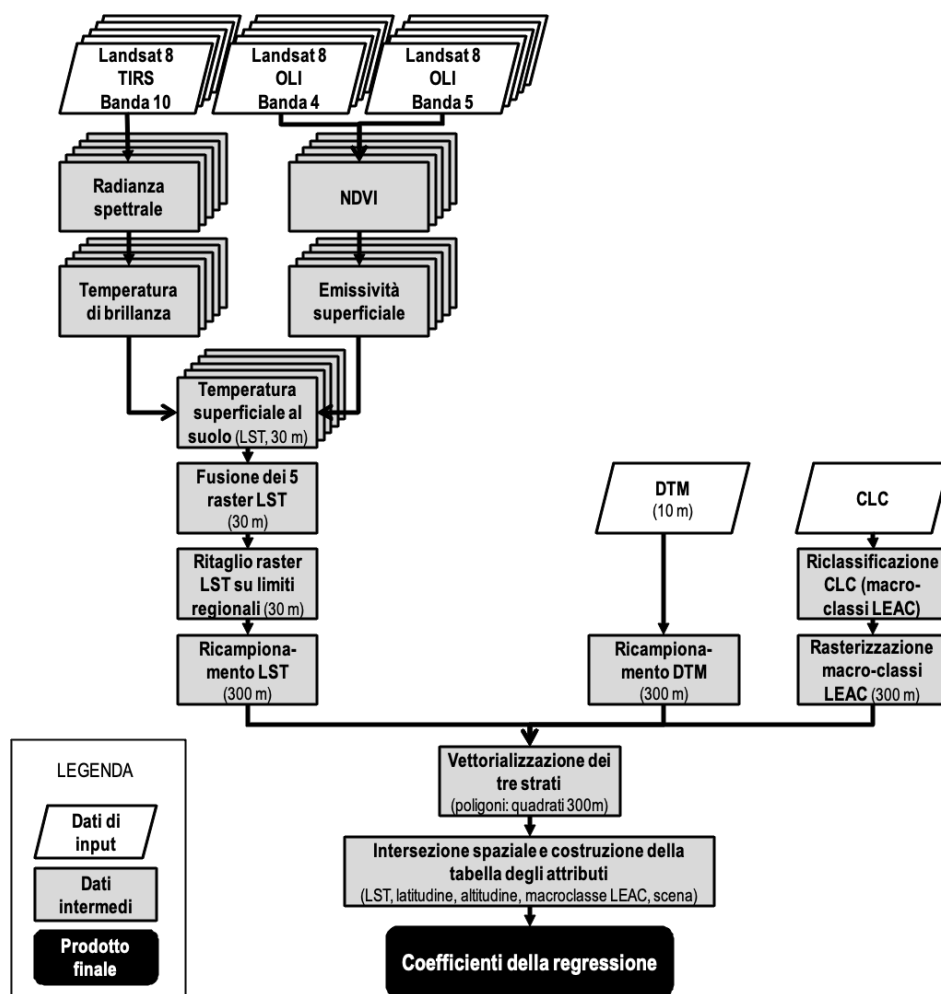


Figura 1 | Rappresentazione grafica della metodologia sviluppata. Fonte: elaborazione degli autori.

⁴ Il satellite Landsat 8 orbita intorno alla Terra secondo cicli di 16 giorni, acquisendo le immagini lungo “scene” prefissate, con traiettorie normalmente discendenti (ovvero in direzione grosso modo nord/sud). Per la copertura totale della Sardegna sono necessarie le due scene indicate in Tabella I, tra loro parzialmente sovrapposte, che vengono acquisite con uno scarto di circa una settimana l’una dall’altra. La maggior parte del territorio regionale è coperta dalla scena 193, ma per una piccola porzione sudorientale occorre utilizzare immagini appartenenti alla scena 192, che ha un gap temporale di sette giorni rispetto alla scena 193. Questo implica che le analisi (calcolo della radianza, della temperatura di brillantezza, dell’NDVI, dell’emissività e della LST) sono riferite per la maggior parte del territorio regionale al 23 maggio (scena 193) e per la parte rimanente al 16 maggio (scena 192).

Per quanto riguarda le coperture dei suoli, dal dato europeo al 2018 sono stati estratti i poligoni riferiti alla Sardegna, poi riclassificati secondo la tassonomia LEAC definita dall'Agenzia europea dell'ambiente (EEA, 2006). La Tabella II riporta l'associazione tra le macroclassi LEAC e le 44 classi della classificazione CLC al terzo livello di dettaglio. Lo strato geografico così ottenuto è stato, successivamente, convertito in una mappa raster con cella di 300 metri, coincidente con la griglia della mappa della LST.

Tabella II | Associazione tra le macroclassi della tassonomia LEAC e le categorie CORINE land cover al terzo livello di dettaglio.

Macroclassi della tassonomia LEAC		Categorie CORINE Land Cover			
SA	Superfici artificiali	1.*			
SCP	Seminativi e colture permanenti	2.1.*	2.2.*	2.4.1	
PAAM	Pascoli e attività agricole a mosaico	2.3.*	2.4.2	2.4.3	2.4.4
FABA	Foreste, aree boschive e arbustive di transizione	3.1.*	3.2.4		
PGVS	Praterie naturali, garighe, vegetazione sclerofilla	3.2.1	3.2.2	3.2.3	
SAVRA	Spazi aperti con vegetazione rada o assente	3.3.*			
ZUCA	Zone umide e corpi d'acqua	4.*	5.* (eccetto la classe 5.2.3 Mari e oceani)		

L'asterisco indica qualsiasi sottoclasse di una determinata classe o qualsiasi sottoclasse di una determinata sottoclasse

A ciascuna cella è stata assegnato un valore corrispondente alla macroclasse LEAC prevalente in termini di estensione all'interno della cella. Per quanto riguarda, invece, l'altitudine, il DTM regionale (di risoluzione pari a 10 metri) è stato ricampionato utilizzando un'interpolazione lineare per ottenere una mappa raster con la stessa dimensione di cella e griglia delle mappe riferite alla copertura dei suoli ed alla LST.

Successivamente, nella seconda fase, ciascuna delle tre mappe raster è stata convertita in una mappa vettoriale, i cui poligoni coincidono spazialmente con i pixel appartenenti alle tre mappe raster; ciascun poligono nella mappa vettoriale è, quindi, un quadrato di lato pari a 300 metri nel sistema di riferimento EPSG 32632⁵.

A ciascun poligono sono stati assegnati i seguenti attributi:

1. valore della LST della cella corrispondente;
2. copertura del suolo (macroclasse LEAC) prevalente;
3. altitudine;
4. latitudine riferita al centroide del poligono, nel sistema di riferimento EPSG 32632;
5. il valore 1 o 0 a seconda che il pixel si riferisca alla scena 193 o 192; quando i pixel si riferiscono ad entrambe le scene è stato assegnato il valore 1, in coerenza con il fatto che nell'attribuzione della LST alle celle ricadenti in entrambe le scene è stato assegnato il valore più alto, sempre corrispondente a quello della scena 193.

Nella terza fase, i poligoni, così definiti, sono stati utilizzati come unità spaziali per stimare una regressione lineare multipla, formalizzata come segue:

$$LST = \beta_0 + \beta_1 SA + \beta_2 SCP + \beta_3 PAAM + \beta_4 FABA + \beta_5 PGVS + \beta_6 SAVRA + \beta_7 ALT + \beta_8 LAT + \beta_9 OV \quad (1)$$

dove:

- le variabili esplicative da SA a SAVRA, che rappresentano i gruppi LEAC, sono dicotomiche; ciascuna variabile può assumere due valori, 1 o 0, a seconda del gruppo LEAC che fa rilevare la massima misura della superficie (ad esempio, se il gruppo LEAC che presenta la massima misura della superficie è SA, allora il valore di SA è posto uguale a 1, altrimenti è posto uguale a zero); ciascun coefficiente stimato dalla regressione (1), β_i , $i = 1, \dots, 6$, identifica la variazione marginale della LST, relativa ad una cella, nel caso in cui la variabile associata al coefficiente β_i (cioè SA, SCP, ecc.) faccia riscontrare la massima misura della superficie, rispetto alla condizione di base rappresentata dal caso in cui la misura massima della superficie si riscontri con riferimento alla variabile ZUCA.
- ALT è l'altitudine in metri relativa a ciascun poligono;
- LAT è la latitudine in metri del centroide del poligono;

⁵ <https://epsg.io/32632> (Ultimo accesso 13/07/2020).

- OV (Ovest) è una variabile dicotomica che può assumere due valori, 1 o 0, a seconda che il poligono appartenga alla scena 193 (Ovest) o alla 192 (Est).

ALT e LAT sono variabili di controllo relative agli impatti dell'altitudine e della latitudine di una cella sulla LST.

OV è la variabile di controllo relativa all'impatto generato dai dati delle immagini satellitari in quanto il 23 maggio era una giornata soleggiata mentre il 16 maggio era parzialmente nuvoloso, di conseguenza ci si attende che le celle la cui LST è riferita al 23 maggio (scena 193, occidentale) mostrino valori più alti della LST.

È stato, inoltre, condotto un test di significatività statistica per valutare se i coefficienti della regressione siano significativamente diversi da zero (quinta colonna della Tabella III).

3 | Risultati della distribuzione spaziale delle temperature superficiali del suolo e della regressione

La Figura 2 mostra la distribuzione spaziale della LST, esclusi i pixel relativi alle parti coperte dalle nuvole (25.099 su 266.818 poligoni), delle macroclassi LEAC e dell'elevazione. Queste variabili costituiscono la base di dati utilizzata per le stime dei coefficienti delle variabili della regressione.

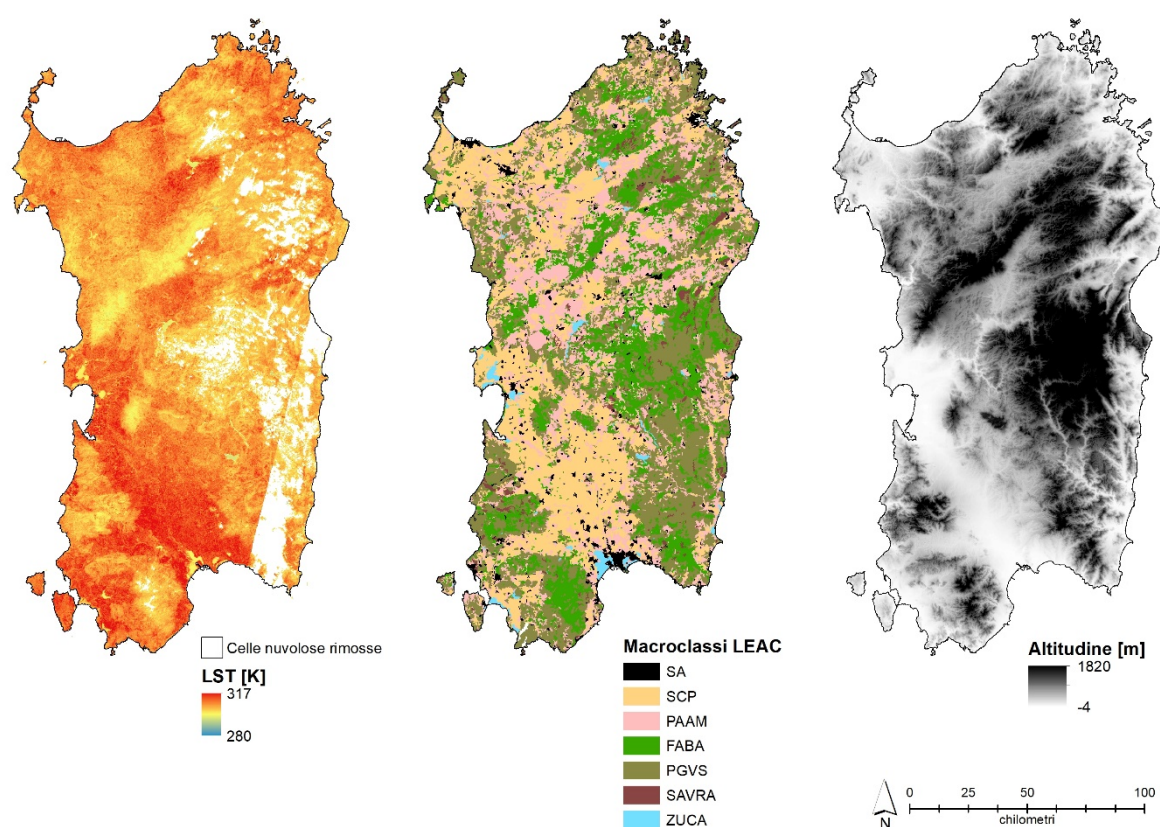


Figura 2 | Distribuzione spaziale della temperatura superficiale del suolo (LST) escluse le celle relative alle parti coperte dalle nuvole, delle macroclassi LEAC e dell'elevazione. Fonte: elaborazione degli autori.

Le stime della regressione identificano gli impatti delle macroclassi di copertura del suolo LEAC sulla LST. Le stime dei coefficienti delle variabili booleane definiscono gli effetti marginali di ciascuna variabile sulla variazione della LST rispetto alla macroclasse “Zone umide e corpi d’acqua” (ZUCA), il cui effetto sulla LST è il più basso tra tutte le macrocategorie LEAC. La Tabella III mostra i risultati della regressione.

Le stime dei coefficienti delle variabili LAT e ALT sono significative e mostrano il segno atteso negativo. In altre parole, secondo le stime, la LST diminuisce all’aumentare dell’altitudine e all’aumentare della latitudine. In media, un aumento di 100 metri di altitudine comporta una diminuzione di 0,64 K della LST, mentre un incremento di 10 km di latitudine implica una diminuzione di 0,16 K della LST. Il coefficiente della variabile dicotomica OV è significativo e mostra il segno atteso positivo, e, quindi, a parità di altre condizioni, in media, la LST di una cella rilevata con riferimento ad immagini satellitari del 23 maggio è di 4,3 K superiore a quella di una cella la cui LST è rilevata il 16 maggio.

I coefficienti stimati delle sei variabili dicotomiche sono parimenti significativi. Le stime dei coefficienti mostrano come la macroclasse SA eserciti i maggiori impatti sulla LST. In media, le celle appartenenti alle aree urbanizzate, identificate dalla variabile SA, presentano una LST superiore di: 8,9 K rispetto alle celle relative alle zone umide e corpi d'acqua, identificate dalla variabile ZUCA; 0,4 K rispetto alle celle dei seminativi e delle colture permanenti, identificate dalla variabile SCP; 1,5 K rispetto alle celle dei pascoli e delle attività agricole a mosaico, identificate dalla variabile PAAM, ed alle celle degli spazi aperti con vegetazione rada o assente, identificate dalla variabile SAVRA; 2,6 K rispetto alle celle delle praterie naturali, garighe e vegetazione sclerofilla, identificate dalla variabile PGVS; 4,1 K rispetto alle celle delle foreste, aree boschive e arbustive di transizione, identificate dalla variabile FABA. In secondo luogo, l'agricoltura intensiva, le cui aree sono identificate dalla variabile SCP, genera impatti sulla LST simili a quelli delle aree urbanizzate, identificate dalla variabile SA, e questo risultato si evidenzia, quindi, anche per aree non caratterizzate dal fenomeno dell'impermeabilizzazione dei suoli. In terzo luogo, l'agricoltura estensiva e i pascoli, identificati dalla variabile PAAM, e la terra nuda ed i terreni scarsamente vegetati identificati dalla variabile SAVRA, sono caratterizzati da valori della LST inferiori e i loro impatti sulla LST sono simili tra loro. In quarto luogo, le due macroclassi riferite a usi non agricoli sono le più efficaci per quanto riguarda la mitigazione del riscaldamento superficiale del suolo. Foreste ed aree boschive e arbustive di transizione, identificate dalla variabile FABA, mostrano il maggiore impatto positivo sulla mitigazione della LST.

Tabella III | Risultati della regressione.

Variabile esplicativa	Coefficiente	Scarto quadratico medio	Statistica t	Test di ipotesi: Coefficiente=0	Media della variabile esplicativa
SA	8,918	0,0531	167,991	0,000	0,032
SCP	8,515	0,0460	185,274	0,000	0,269
PAAM	7,413	0,0465	159,529	0,000	0,228
FABA	4,786	0,0476	100,556	0,000	0,150
PGVS	6,272	0,0463	135,428	0,000	0,293
SAVRA	7,349	0,0602	122,113	0,000	0,017
ALT	-0,00638	-0,0000218	-292,404	0,000	317,248
LAT	-0,0000157	-0,000000781	-200,735	0,000	4.438.355,893
OV	4,311	0,0242	178,260	0,000	0,951

Variabile dipendente: TSS; Media: 302,230 K; Scarto quadratico medio: 3,801; Coefficiente di determinazione corretto della regressione: 0,571.

4 | Discussione e conclusioni

L'approccio metodologico definito ed applicato in questo studio offre stime degli impatti delle coperture dei suoli e delle loro transizioni sulla LST attraverso l'integrazione dell'analisi spaziale basata su tecnologie GIS con il modello della regressione lineare multipla.

L'impatto più rilevante sugli aumenti della LST è rappresentato dalle aree urbanizzate, che limitano o impediscono la circolazione dell'aria e l'impatto del raffreddamento sottovento (Oke, 1988). In queste zone, il comfort termico generato dalle aree vegetate è quasi del tutto assente (Geneletti, Cortinovis, Zardo & Blam Adel, 2019). Le misure di pianificazione su microscala, volte a ridurre la LST in contesti urbanizzati, si basano sulla messa a dimora di alberi, sull'aumento nella dotazione di zone verdi urbane attraverso l'impianto di essenze su aree prive di verde, oppure l'ampliamento di esistenti zone urbane in parte già dotate di spazi vegetati (Geneletti et al., 2019).

Le aree caratterizzate da agricoltura intensiva ed estensiva, identificate dalle variabili SCP e PAAM, e da spazi aperti, identificate dalla variabile SAVRA, comportano impatti negativi sulla LST molto simili a quelli delle aree urbanizzate. Le aree SCP, seppur non impermeabilizzate, si caratterizzano per la presenza di una fitta vegetazione a bassa crescita che impedisce la circolazione dell'aria e il raffreddamento sottovento, e, pertanto, si caratterizzano per bassi valori di comfort termico e di evapotraspirazione (Irmak, 2012).

Le coperture dei suoli più efficaci nel mitigare l'aumento della LST sono le foreste e le aree boschive e arbustive di transizione, identificate dalla variabile FABA, e le praterie naturali, garighe e vegetazione

sclerofilla, identificate dalla variabile PGVS, grazie alla presenza della vegetazione che riduce la quantità di calore immagazzinato nel suolo attraverso la traspirazione (Youneszhadeh, Amiri & Pilesjo, 2015). A tal fine, sarebbe auspicabile che le coperture dei suoli caratterizzate dal più basso grado di antropizzazione, come le zone FABA e PGVS, siano oggetto di misure mirate all'attenuazione del fenomeno del surriscaldamento. In particolare, tali misure dovrebbero sostenere le transizioni graduali da aree SCP, PAAM e SAVRA ad aree PGVS e FABA.

Politiche basate su sistemi di incentivi per il rimboschimento basati sulla rendita agricola rappresentano approcci di politica di piano per ridurre la LST nelle aree rurali. Queste misure sono sicuramente più efficaci nelle aree classificate come PAAM o SAVRA, mentre nelle aree classificate come SCP, caratterizzate da un'attività agricola intensiva, e quindi da alte rendite, questi cambiamenti d'uso del suolo sono meno praticabili (Hyytiainen, Leppanen & Pahkasalo, 2008), in quanto difficilmente un sistema di incentivi riuscirebbe a compensare la perdita di reddito. Tuttavia, in riferimento a queste aree, le amministrazioni nazionali, regionali e locali potrebbero giocare un ruolo-chiave nella individuazione delle aree potenzialmente convertibili, nella definizione delle dimensioni ottimali delle aree da convertire e per quanto riguarda la fattibilità finanziaria degli investimenti pubblici (Zavalloni, D'Alberto, Raggi & Viaggi, 2019). Tra le aree PAAM, ad esempio, le aree utilizzate per il pascolo ovino potrebbero essere interessate da un sistema di incentivi per una parziale forestazione a valere sul Programma di Sviluppo Rurale senza che ciò impatti in modo significativo sull'economia zootecnica regionale, purché siano effettuate accurate valutazioni sull'impianto in termini sia di scelta delle essenze che di densità dell'impianto; viceversa, un'eventuale conversione delle aree utilizzate per l'allevamento dei bovini risulterebbe molto impattante perché il pascolo arborato (quale, ad esempio, la *debesa* spagnola) è meno appropriato per questo tipo di allevamento, la cui redditività per unità di superficie è decisamente elevata nel contesto regionale, pur interessando parti molto limitate del territorio isolano.

La metodologia qui proposta è innovativa in quanto propone un'integrazione tra un modello consolidato in letteratura, che stima i valori delle LST a partire dalle immagini satellitari e dunque supplisce all'assenza di una rete di misura delle temperature superficiali effettive distribuita sul territorio, e un modello di regressione; tale integrazione consente di porre in relazione i valori stimati delle LST con i suoi driver, ovvero le caratteristiche biofisiche del territorio (coperture dei suoli, altimetria, latitudine).

È, infine, da porre in evidenza come la metodologia definita ed applicata in questo studio possa essere facilmente esportata in altri contesti regionali nazionali ed europei, dal momento che, per tutto il mondo, sono disponibili immagini satellitari, gratuite, che consentono l'identificazione della distribuzione spaziale della LST, e che la classificazione delle coperture dei suoli basata sulla tassonomia LEAC è disponibile per tutti i paesi europei, ed è facilmente sostituibile con analoghe tassonomie nei contesti spaziali extra-europei.

Attribuzioni

Questo contributo è redatto nell'ambito del Progetto di ricerca "Paesaggi rurali della Sardegna: pianificazione di infrastrutture verdi e blu e di reti territoriali complesse", finanziato con riferimento al Bando della Regione Autonoma della Sardegna per "Progetti di ricerca fondamentale o di base" in attuazione della Legge Regionale n. 7 /2007, annualità 2017, sviluppato presso il DICAAR dell'Università di Cagliari.

Il contributo è frutto della ricerca comune degli autori. La prima sezione è stata redatta congiuntamente. La redazione della sezione 2 è di Sabrina Lai. La redazione della sezione 3 è di Corrado Zoppi. La redazione della sezione 4 è di Federica Leone.

Riferimenti bibliografici

Artis D.A., Carnahan W.H. (1982), "Survey of emissivity variability in thermography of urban areas", in *Remote Sensing of Environment*, no. 12, pp. 313-329.

Ding H., Shi W. (2013), "Land-use/land-cover change and its influence on surface temperature: A case study in Beijing City", in *International Journal of Remote Sensing*, no. 34, pp. 5503-5517.

EEA (2006), *Land accounts for Europe 1990–2000: Towards integrated land and ecosystem accounting: European Environment Agency Report no. 11*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Feizizadeh B., Blaschke T., Nazmfar H., Akbari E., Kohbanani H.R. (2013), "Monitoring land surface temperature relationship to land use/land cover from satellite imagery in Maraqeh County, Iran", in *Journal of Environmental Planning and Management*, no. 56, pp. 1290-1315.

- Fonseka H.P.U., Zhang H., Sun Y., Su H., Lin H, Lin Y. (2019), “Urbanization and its impacts on land surface temperature in Colombo metropolitan area, Sri Lanka, from 1988 to 2016”, in *Remote Sensing*, no. 11, 957 (totale pagine 18).
- Geneletti D., Cortinovis C., Zardo L., Blam Adel E. (2019), *Planning for Ecosystem Services in Cities*, Springer, Dordrecht.
- Hofierka J., Gallay M., Onačillová K., Hofierka J.Jr. (2020), “Physically-based land surface temperature modeling in urban areas using a 3-D city model and multispectral satellite data”, in *Urban Climate*, no. 31, 100566 (totale pagine 16).
- Hyytiäinen K., Leppänen J., Pahkasalo T. (2008), “Economic analysis of field afforestation and forest clearance for cultivation in Finland”, in *Proceedings of the International Congress of European Association of Agricultural Economists, Ghent, Belgium, 26–29 August 2008*.
- Irmak A. (a cura di, 2012), *Remote Sensing and Modeling*, IntechOpen, London.
- Kim Y.-H., Baik J.-J. (2005), “Spatial and temporal structure of the urban heat island in Seoul”, in *Journal of Applied Meteorology*, no. 44, pp. 591-605.
- Ndossi M.I., Avdan U. (2016), “Application of open source coding technologies in the production of Land Surface Temperature (LST) maps from Landsat: A PyQGIS Plugin” in *Remote Sensing*, no. 8, 413 (totale pagine 31).
- Nguyen T.M., Lin T.-H., Chan H.-P. (2019), “The environmental effects of urban development in Hanoi, Vietnam from satellite and meteorological observations from 1999-2016”, in *Sustainability*, no.11, 1768 (totale pagine 24).
- Oke T.R. (1988), “The urban energy balance”, in *Progress in Physical Geography*, no. 12, pp. 471-508.
- Wang C., Li Y., Myint S.W., Zhao Q., Wentz E.A. (2019), “Impacts of spatial clustering of urban land cover on land surface temperature across Köppen climate zones in the contiguous United States”, in *Landscape and Urban Planning*, n0. 92, 103668 (totale pagine 11).
- Youneszadeh S., Amiri N., Pilesjo P. (2015), “The effect of land use change on land surface temperature in the Netherlands”, in: *Proceedings of the International Conference on Sensors & Models in Remote Sensing & Photogrammetry, Kish Island, Iran, 23–25 November 2015*; vol. 41, pp. 745-748.
- Zavalloni M., D’Alberto R., Raggi M., Viaggi D. (2019), “Farmland abandonment, public goods and the CAP in a marginal area of Italy”, in *Land Use Policy*, in press. Doi:10.1016/j.landusepol.2019.104365.
- Zhang J., Wang Y., Li Y. (2006), “A C++ Program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM+ band6”, in *Computers & Geosciences*, no. 32, pp. 1796-1805.
- Zullo F., Fazio G., Romano B., Marucci A., Fiorini L. (2019), “Effects of urban growth spatial pattern (UGSP) on the land surface temperature (LST): A study in the Po Valley (Italy)”, in *Science of the Total Environment*, no. 650, pp. 1740-1751.

Planum Publisher e Società Italiana degli Urbanisti
ISBN: 978-88-99237-36-3
DOI: 10.53143/PLM.C.921

Volume pubblicato digitalmente nel mese di aprile 2021

