

Ricerca di Sistema elettrico



LA 2.5 Monitoraggio da remoto del caso studio di applicazioni di tetti verdi in aree urbane ad alta densità a scala cittadina (parte 1)

LA 2.5: Monitoraggio da remoto del caso studio di applicazioni di tetti verdi in aree urbane ad alta densità a scala cittadina (parte 1)

S. Pace, ENEA DUEE SAIP PRE, V. Del Fatto, DUEE SAIP DIG

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica -ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: *Decarbonizzazione*

Progetto: *tema di ricerca 1.5 - Edifici ad alta efficienza per la transizione energetica*

Responsabile del Progetto: Giovanni, Puglisi, ENEA

Responsabile del Work Package: Giovanni, Puglisi, ENEA

Responsabile Linea di Attività: ENEA

Mese inizio previsto: gennaio 2022

Mese inizio effettivo: gennaio 2022

Mese fine previsto: dicembre 2024

Mese fine effettivo: dicembre 2024

ISI ringrazia per la collaborazione alle attività svolte Il Comune di Bolzano

Indice

1	Risultati attesi	4
1.1	Secondo livello	Errore. Il segnalibro non è definito.
2	Risultati ottenuti.....	5
2.1	Secondo livello	5
3	Prodotti attesi	7
3.1	Secondo livello	Errore. Il segnalibro non è definito.
3.1.1	Terzo livello.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
4	Prodotti sviluppati	7
4.1	Secondo livello	Errore. Il segnalibro non è definito.
4.1.1	Terzo livello.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
5	Analisi degli scostamenti su attività e risultati.....	9
6	Sintesi delle attività svolte	10
6.1	Secondo livello	10
6.1.1	Terzo livello.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
7	Dettaglio delle attività svolte.....	11
7.1	Secondo livello	11
7.1.1	Terzo livello.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
8	Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte	Errore. Il segnalibro non è definito.
9	Publicazioni scientifiche.....	17
10	Eventi di disseminazione	17

Indice delle figure

Figura 1 - Area comunale della città di Bolzano con in evidenza i tetti verdi, di colore verde, e alcuni tetti <i>target</i> , di vari colori, nel quartiere di Bolzano sud	12
Figura 2- Tetto verde intensivo della Fiera di Bolzano e tetto con i tre settori dell'edificio comunale in Via Lancia	13
Figura 3 - Tetto verde complesso (estensivo e biosolare su più piani) del centro commerciale <i>Twenty</i> e tetto tradizionale dello stabilimento IVECO.....	13
Figura 4 - Mappe <i>LST</i> da Landsat 8/9 nei mesi estivi di Bolzano città, a sinistra, e del quartiere Bolzano sud a destra. In evidenza, con colore viola, il tetto più scuro dello stabilimento IVECO	14
Figura 5 - Mappe <i>LST</i> da Landsat 8/9 di Bolzano città nel luglio 2022 con sovrapposto il <i>layer</i> tetti verdi, in alto, e nel giugno 2004, in basso, con evidenziati in vari colori i buffer a 50m, 100 e 150m	16

1 Risultati attesi

I risultati attesi dalla LA 2.5, come descritti nella proposta progettuale, sono riassunti nei seguenti punti:

- aggiornamento della letteratura scientifica sul *remote sensing & GIS* applicati alle *TVI*;
- analisi dei risultati della metodologia circa l'impiego di tecnologie verdi d'involucro sia per mitigazione del surriscaldamento urbano sia per la gestione del dispendio energetico urbano degli edifici;
- individuazione delle procedure di *processing* dei dati da remoto (satellitari e da drone) più idonee agli obiettivi di studio;
- saranno definite nel dettaglio le tecnologie verdi d'involucro esistenti nelle aree studio e i fattori al contorno (presenza di verde urbano, geometrie urbane);
- mappe tematiche di *LST* e di *normalized difference vegetation index (NDVI)* della città di Bolzano.

2 Risultati ottenuti

I risultati ottenuti nella LA 2.5 sono in larga parte corrispondenti a quelli previsti dalla proposta di ricerca. Di seguito la disamina dettagliata.

2.1 *aggiornamento della letteratura scientifica sul remote sensing & GIS applicati alle TVI.*

L'interesse della comunità scientifica specializzata conferma il ruolo dei tetti verdi quale strategia efficace per mitigare gli effetti dell'*Urban Heat Island* in presenza di risorse territoriali limitate. Tuttavia c'è carenza di studi empirici che esaminino i profili termici di tetti verdi e del verde verticale. La mancata comprensione scientifica di questi effetti rappresenta un ostacolo importante per un'implementazione diffusa.

Intercettati alcuni studi che hanno utilizzato *remote sensing & GIS* per monitorare in continuo e a scala territoriale variabili ecologiche come biodiversità, qualità dell'aria, ecc..

2.2 *analisi dei risultati della metodologia circa l'impiego di tecnologie verdi d'involucro sia per mitigazione del surriscaldamento urbano sia per la gestione del dispendio energetico urbano degli edifici.*

L'uso del telerilevamento da satellite e da drone, potendo monitorare senza dover accedere fisicamente all'area di studio, integrandosi con i *GIS*, permette di riunire in un unico modello le molteplici variabili che caratterizzano un territorio urbano. Le tecnologie verdi di involucro hanno dimostrato con la presente ricerca di mitigare efficacemente il surriscaldamento urbano ma anche contenere il dispendio energetico degli edifici.

2.3 *individuazione delle procedure di processing dei dati da remoto (satellitari e da drone) più idonee agli obiettivi di studio.*

Nel caso studio della città di Bolzano si è posta la necessità di confrontare da un punto di vista termico di superficie due stati temporali ben definiti: ante e post implementazione tetti verdi. In *GIS* si traduce in operazioni di estrazione di immagini dalle mappe di *LST* dei vari mesi per gli anni in esame avvalendosi di *layer* vettoriali per il 'taglio' che nel caso di specie sono stati i singoli tetti target o l'intero edificato urbano pre e post implementazione *TVI*.

la definizione di *script* in linguaggio *Python* per automatizzare e velocizzare il confronto tra le situazioni ante e post implementazione dei tetti verdi ha permesso l'esecuzione rapida di oltre 20 anni di confronto per tutti i *layer* vettoriali in esame.

2.4 *saranno definite nel dettaglio le tecnologie verdi d'involucro esistenti nelle aree studio e i fattori al contorno (presenza di verde urbano, geometrie urbane)*

Sono stati individuati i tetti *target* più significativi, verdi e non verdi, definendone agevolmente le peculiarità: la presenza di situazioni in cui tetto verde e porzione con copertura tradizionale hanno dimensioni identiche e contrapposte (Fiera di Bolzano); la presenza di grandi superfici implementate a tetto verde anche in presenza di grandi

impianti come nei centri commerciali (centro commerciale TWENTY); tetti non verdi con grandi superfici a copertura tradizionale altamente impattanti sulla temperatura di superficie della città (stabilimento IVECO); coesistenza di più tipologie di copertura: classica (a mattonelle), verde e verde con pannelli fotovoltaici (edificio comunale di via Lancia), definiti questi ultimi 'tetti biosolari'

2.5 *mappe tematiche di LST e di normalized difference vegetation index (NDVI) della città di Bolzano*

L' *NDVI*, indice vegetazionale di differenza normalizzata, è negativamente correlato con la *LST*. Si ottiene mediante algoritmo specifico partendo dai soli dati spettrali nel visibile. In mancanza di dati termici satellitari (non sempre disponibili) è possibile quindi individuare le aree più calde della città e formulare scenari di implementazione di tetti verdi anche in assenza di mappe di *LST*.

3 Prodotti attesi

Il *deliverable* previsto come da proposta progettuale per la LA 2.5 è:

- Rapporto tecnico di sintesi delle attività e dei risultati attesi prima descritti.

4 Prodotti sviluppati

È stato sviluppato e realizzati il presente *deliverable*, menzionato nella sezione precedente, come previsto nella proposta progettuale.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Non si evidenziano scostamenti rispetto ad attività e risultati previsti.

6 Sintesi delle attività svolte

Approvvigionamento strumenti hardware per acquisizioni e storage di dati di grandi dimensioni; software specialistico per elaborazioni di immagini satellitari. Individuazione delle aree di studio comprensive di tetti verdi e tetti tradizionali da monitorare sia da satellite sia con drone e pianificazione dell'attività di volo con drone. Sistemazione sensoristica nelle aree studio e validazione del sistema di raccolta e processamento dei dati climatici. Selezione dati satellitari utili alle indagini. Acquisizioni termiche *in situ* delle aree urbane *target* (edifici) tramite termocamera montata su drone sia in diurna sia in notturna.

Processing dati satellitari per le aree urbane *target* per determinare sia la *LST* sia gli indici spettrali (*NDVI*); definizione e analisi delle zone *buffer* circostanti i tetti *target*.

7 Dettaglio delle attività svolte

7.1 *Analisi della letteratura scientifica specialistica per aggiornare lo stato dell'arte sulle metodologie di remote sensing & GIS based per valutare le TVI e il comfort termico esterno degli edifici interessati*

Tra gli studi rinvenuti riguardanti l'utilizzo delle tecniche di analisi spaziale e di telerilevamento. È di rilevanza quello sulla città di Costantine in Algeria dove le mappe dell'indice di vegetazione normalizzato (NDVI) hanno consentito lo studio termico della superficie urbana. hanno permesso di . Ad Austin in Texas sono state utilizzate le immagini satellitari Sentinel 2A per calcolare l'NDVI e indici edili constatando che i tetti verdi degli edifici con altezze comprese tra 15 e 25 m, e la minore distanza da corpi idrici registrano la maggiore diminuzione della LST. In Cina presso il distretto centrale della città di Chengdu City e si sono avvalsi della teoria delle LCZ (Local Climate Zone) per classificare le forme spaziali urbane e quantificare la differenza di temperatura (LST) prima (2014) e dopo (2018) l'implementazione dei tetti verdi, rilevando una riduzione della LST di 0.94°C nelle aree urbane con altezza edifici compresa tra 20 e 60 m. Infine lo studio risultato più utile quello condotto nell'isola di Xiamen, sempre in Cina, dove sono stati implementati 540.000 m² di tetti verdi tra il 2015 e il 2017. La LST è diminuita di 0,91 °C, prolungando l'effetto di raffrescamento fino a 100 m dai tetti verdi.

7.2 *Studio dei sensori spettrali da remoto, passivi e attivi, disponibili sia free sia commerciali e delle principali banche dati satellitari, in particolare per l'infrarosso termico*

Il campo del telerilevamento termico è ancora dominato dall'utilizzo di sensori passivi le cui immagini sono scaricabili gratuitamente, come Landsat 8 e 9, e da risoluzioni spaziali ancora piuttosto basse: attualmente le acquisizioni avvengono con 100 m di risoluzione, ridotte a 30 m mediante algoritmi, subendo però un ricampionamento rispetto all'informazione originaria. Un vantaggio viene offerto dalle mappe sintetiche di LST a risoluzione spaziale di 10 m partendo da Sentinel 2, che ha tempi di rivoluzione analoghi al Landsat. Un notevole vantaggio quando si lavora con vettori target di dimensioni contenute come i vettori dei singoli tetti verdi.

7.3 *approvvigionamento dei materiali e degli strumenti necessari allo studio: hardware per acquisizioni e storage di dati di grandi dimensioni; software specialistico per elaborazioni di immagini satellitari; immagini satellitari pre-lavorate e migliorate per la risoluzione geometrica nell'infrarosso termico*

E' stato acquistato il software ENVI per il processing satellitare; stipulato contratto con la ditta "Latitudo 40" per la fornitura immagini termiche satellitari sintetiche con risoluzione spaziale di 10 m..

7.4 *individuazione delle aree di studio comprensive di tetti verdi e tetti tradizionali da monitorare sia da satellite sia con drone e pianificazione dell'attività di volo con drone; voli di prova con drone sia in diurna sia in notturna. Definizione dei criteri di scelta delle aree di studio e dei fattori al contorno*

Nell'ambito dell'area comunale della città di Bolzano (fig.1) è stato focalizzato il quartiere di Oltrisarco, denominato Bolzano sud (delimitato in giallo), sede di attività industriali.

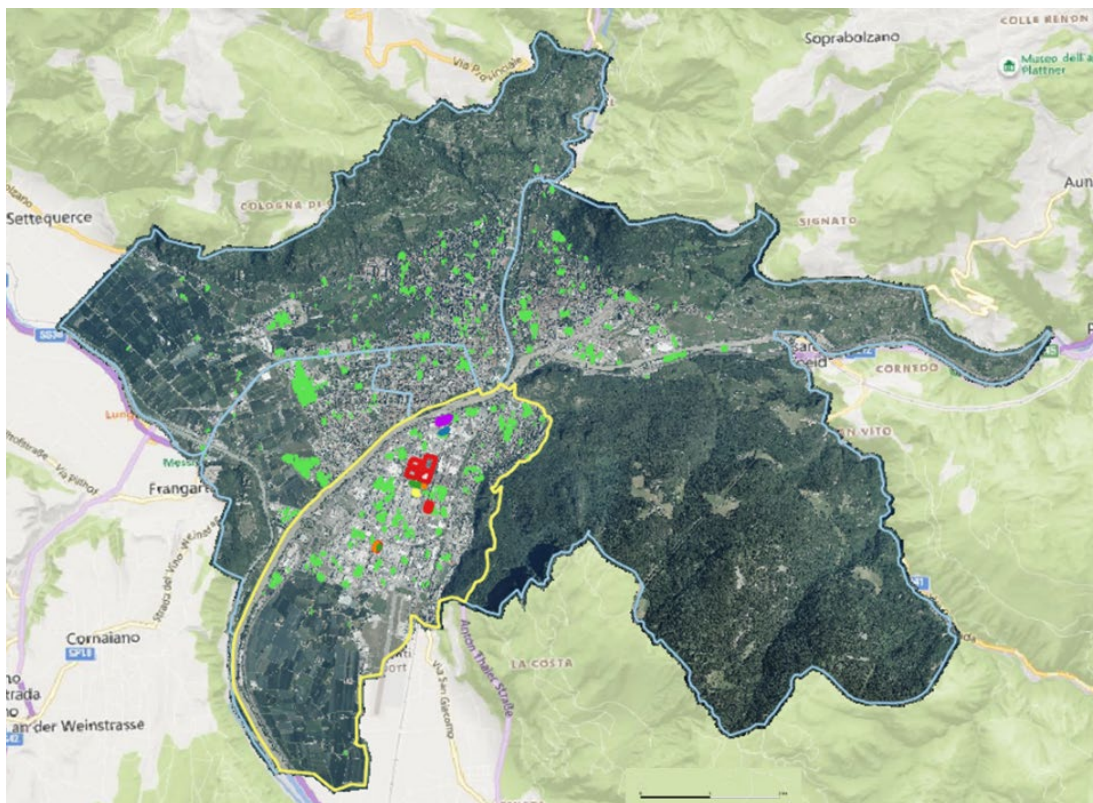


Figura 1 - Area comunale della città di Bolzano con in evidenza i tetti verdi, di colore verde, e alcuni tetti target, di vari colori, nel quartiere di Bolzano sud

Tra i tetti target, verdi e non, individuati per la ricerca: il tetto verde della fiera di Bolzano e dell'edificio comunale di via Lancia (fig2; il tetto verde del TWENTY e dello stabilimento IVECO (fig.3).



Figura 2- Tetto verde intensivo della Fiera di Bolzano e tetto con i tre settori dell'edificio comunale in Via Lancia



Figura 3 - Tetto verde complesso (estensivo e biosolare su più piani) del centro commerciale *Twenty* e tetto tradizionale dello stabilimento IVECO

I tetti *target* sono stati selezionati per singolarità/dimensioni/complessità.

Stipulato anche il contratto con la ditta "Overfly me" per il conferimento di voli con drone

7.5 sistemazione sensoristica nelle aree studio e validazione del sistema di raccolta e processamento dei dati climatici necessari a descrivere la condizione climatico-ambientale del sito sperimentale

Sono state acquisite e posizionate le stazioni meteo previste dal progetto a fine gennaio 2024, iniziando immediatamente il rilievo meteorologico puntuale. Inizialmente posizionate sul tetto della Fiera di Bolzano, una per il lato con tetto verde e una seconda per il lato con copertura a ghiaia. Ad inizio Agosto 2024 sono state trasferite sul tetto dell'edificio di via Lancia appena

implementato per un settore con copertura a verde, un secondo settore con copertura a verde con pannelli fotovoltaici, mentre il terzo settore aveva già i soli pannelli fotovoltaici.

7.6 selezione dati satellitari utili alle indagini, sia originari sia migliorati per la risoluzione geometrica nel termico; prime elaborazioni per definire la LST delle aree urbane target e delle aree circostanti

I dati satellitari termici classici hanno riguardato le mappe termiche di LST da Landsat 8/9, reperibili attraverso download gratuito dal sito <https://earthexplorer.usgs.gov/>, con risoluzione spaziale di 30 metri. In figura 4 un esempio di mappa termica della città di Bolzano e del quartiere di Bolzano sud.

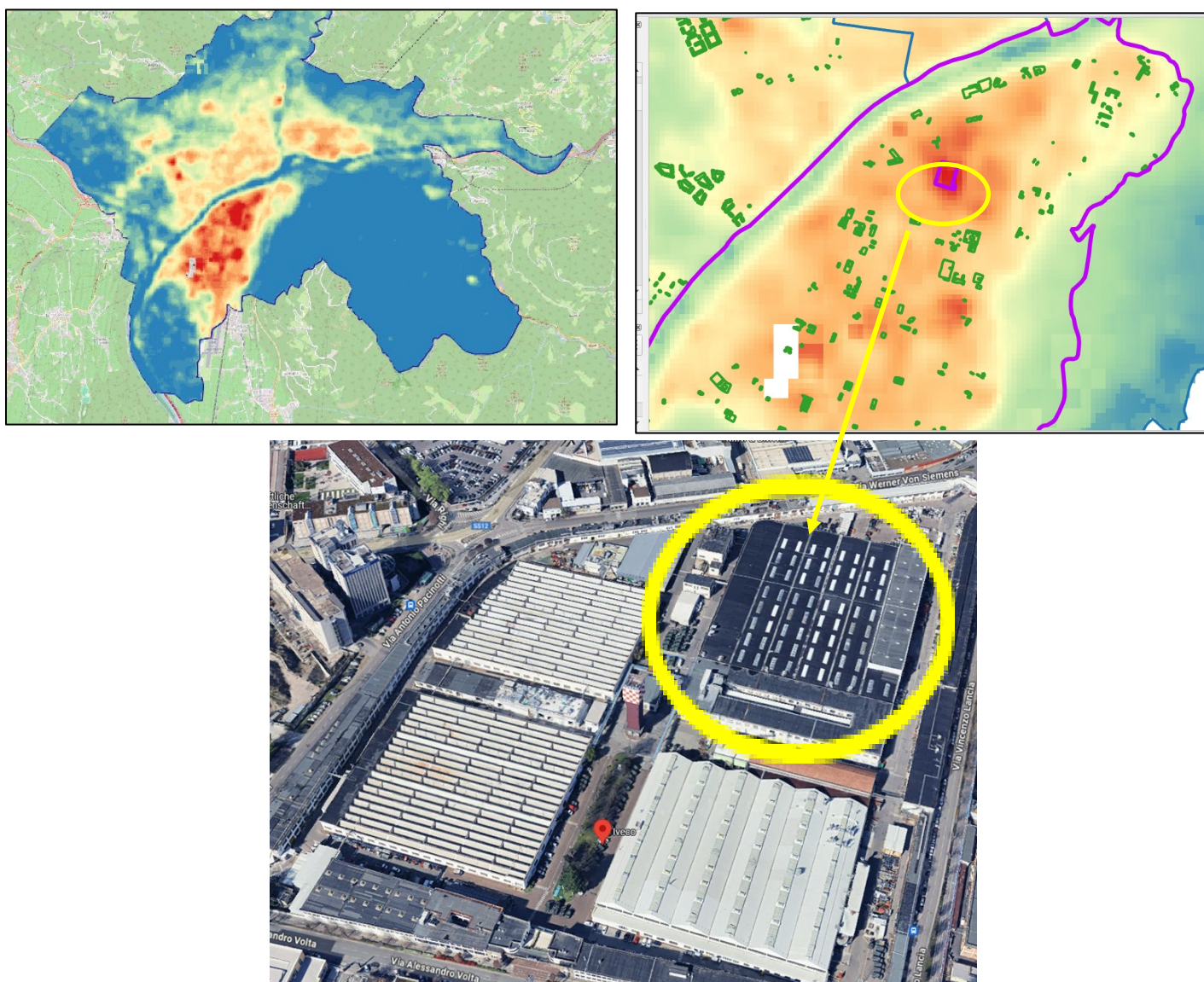


Figura 4 - Mappe LST da Landsat 8/9 nei mesi estivi di Bolzano città, a sinistra, e del quartiere Bolzano sud a destra. In evidenza, con colore viola, il tetto più scuro dello stabilimento IVECO

In evidenza uno dei tetti dello stabilimento IVECO che per essere rivestito di guaina nera risulta altamente surriscaldato in estate al punto da risultare la parte più calda della città, influenzando inevitabilmente il microclima circostante.

7.7 acquisizioni termiche in situ delle aree urbane target (edifici) tramite termocamera montata su drone sia in diurna sia in notturna

7.8 La campagna di voli con drone è stata espletata nell' estate del 2024 in concomitanza con ggio satellitare di Landsat 8/9 e Sentinel 2 in modo da poter relazionare tutti i rilievi raccolti.processing dati satellitari per le aree urbane target per determinare sia la LST sia gli indici spettrali (NDVI); definizione e analisi delle zone buffer circostanti i tetti target

Nella figura 4 mappe LST attuali e del 2004, anno in cui a seguito dell'imposizione dell'indice RIE, Indice di Riduzione dell'Impatto edilizio, è iniziata la presenza di tetti verdi nella città di Bolzano. Prime valutazioni di progressione dell'effetto raffrescante nel caso dei tetti verdi e riscaldante per i tetti tradizionali, particolarmente termici come quello dello stabilimento IVECO, attraverso il *buffer processing* a 50, 100 e 150 m, lavorando le scene satellitari in ambiente QGIS, software GIS open source.

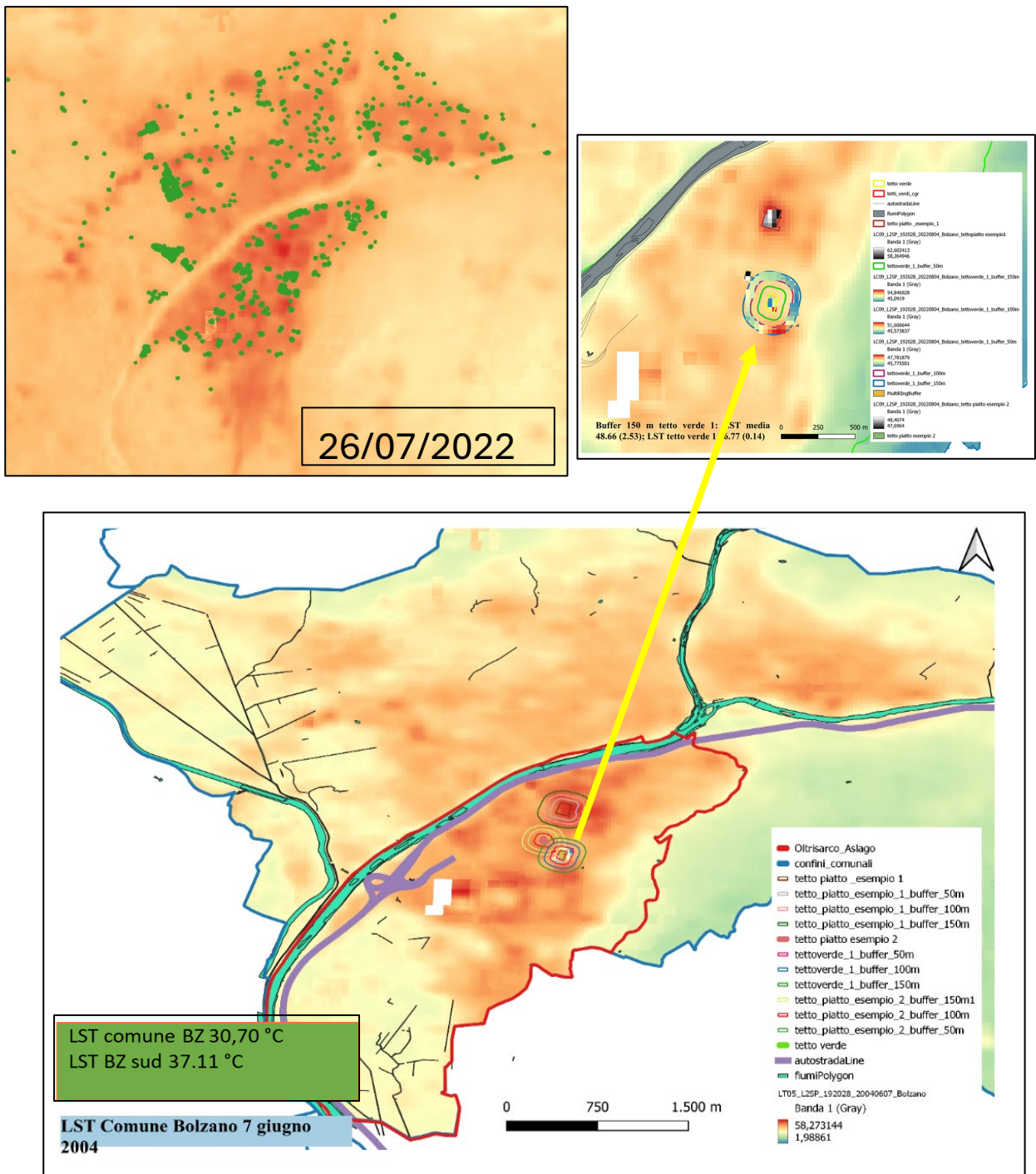


Figura 5 - Mappe LST da Landsat 8/9 di Bolzano città nel luglio 2022 con sovrapposto il *layer* tetti verdi, in alto, e nel giugno 2004, in basso, con evidenziati in vari colori i buffer a 50m, 100 e 150m

8 Pubblicazioni scientifiche

Sebbene gran parte dei dati saranno sviluppati con la LA 2.6, tuttavia alcune pubblicazioni sono riuscite anche durante la LA 2.5

Pace S., Del Fatto V., Loperfido R., Buratti U., Crescini E.. “Environmental efficiency assessment of green infrastructure through remote sensing & GIS techniques” (<https://www.energiaenergetica.enea.it/vi-segnaliamo/save-the-date-13-workshop-tematico-telerilevamento-applicato-ai-processi-di-conoscenza-e-gestione-del-territorio-22-23-settembre-2022.html>), 22-23 Settembre 2022

Latini A., De Rossi P., Pace S. .“Energia: 3 °C in meno in casa d’estate con tetti e pareti verdi.” (<https://www.enea.it/it/Stampa/news/energia-3-gradi-in-meno-in-casa-destate-con-tetti-e-pareti-verdi/>). Comunicato Stampa ENEA, 9 giugno 2022, ultima modifica 26-08-2022.

Campiotti CA, De Rossi P, Latini A, Pace S. . “Quali sono i benefici climatici dei tetti verdi?” <https://www.ingenio-web.it/articoli/quali-sono-i-benefici-climatici-dei-tetti-verdi/>, 21 luglio 2022.

Campiotti CA, De Rossi P, Latini A, Pace S. “La tecnologia dei tetti verdi: tipologie e stratigrafia” (<https://www.ingenio-web.it/articoli/la-tecnologia-dei-tetti-verdi-tipologie-e-stratigrafia/>), 4 marzo 2022, ultima modifica 15-12-2023.

9 Eventi di disseminazione

Giornata a catalogo - Nell'ambito del Progetto "Scuola delle Energie 2016 - 2020" cofinanziato dall'Unione Europea. Relatore Pace S.. "Utilizzo del telerilevamento & GIS per lo studio degli effetti di raffreddamento microclimatico dei tetti verdi in ambiente urbano ", 29 novembre 2022.