



AGENZIA NAZIONALE PER LE  
NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA E LO  
SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

# Telerilevamento e GIS in aree urbane con TVI: caso studio città di Bolzano

*Sala comunale, Vicolo Gumer 7  
Bolzano, 11 Dicembre 2024*



**Stefania Pace, Vincenzo Del Fatto ENEA**



1101 0110 1100  
0101 0010 1101  
0001 0110 1110  
1101 0010 1101  
1111 1010 0000





<https://www.pixtury.com/photos/adrianobussi/42662>

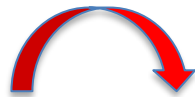


- riduzione delle aree verdi
- accumulo di calore
- impermeabilizzazione superfici
- inquinamento atmosferico
- impatto devastante sulla biodiversità

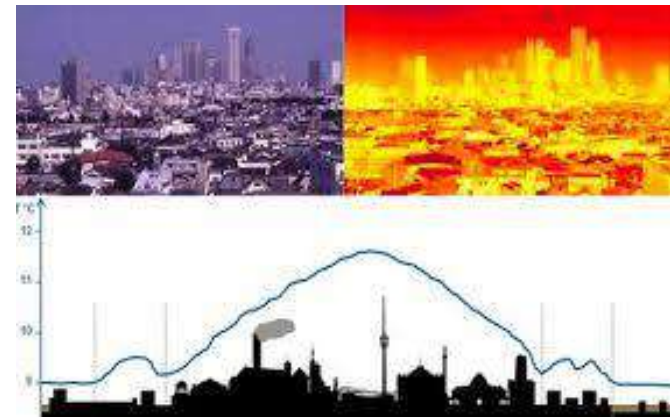
 **VEGETAZIONE**



aumento effetto  
“**ISOLA DI CALORE URBANA**” (UHI)



temperature più elevate negli  
spazi urbani del 2% - 5%



<https://www.buildnews.it/articolo/isole-di-calore-dal-cnr-la-mappa-del-rischio-nelle-citta-italiane>

# Soluzioni?



## Soluzioni ispirate alla NATURA (NBS)



<https://www.reteclima.it/nature-based-solutions-nbs/>

Tetti e pareti verdi  
un'efficace strategia  
utile alla mitigazione  
del'UHI

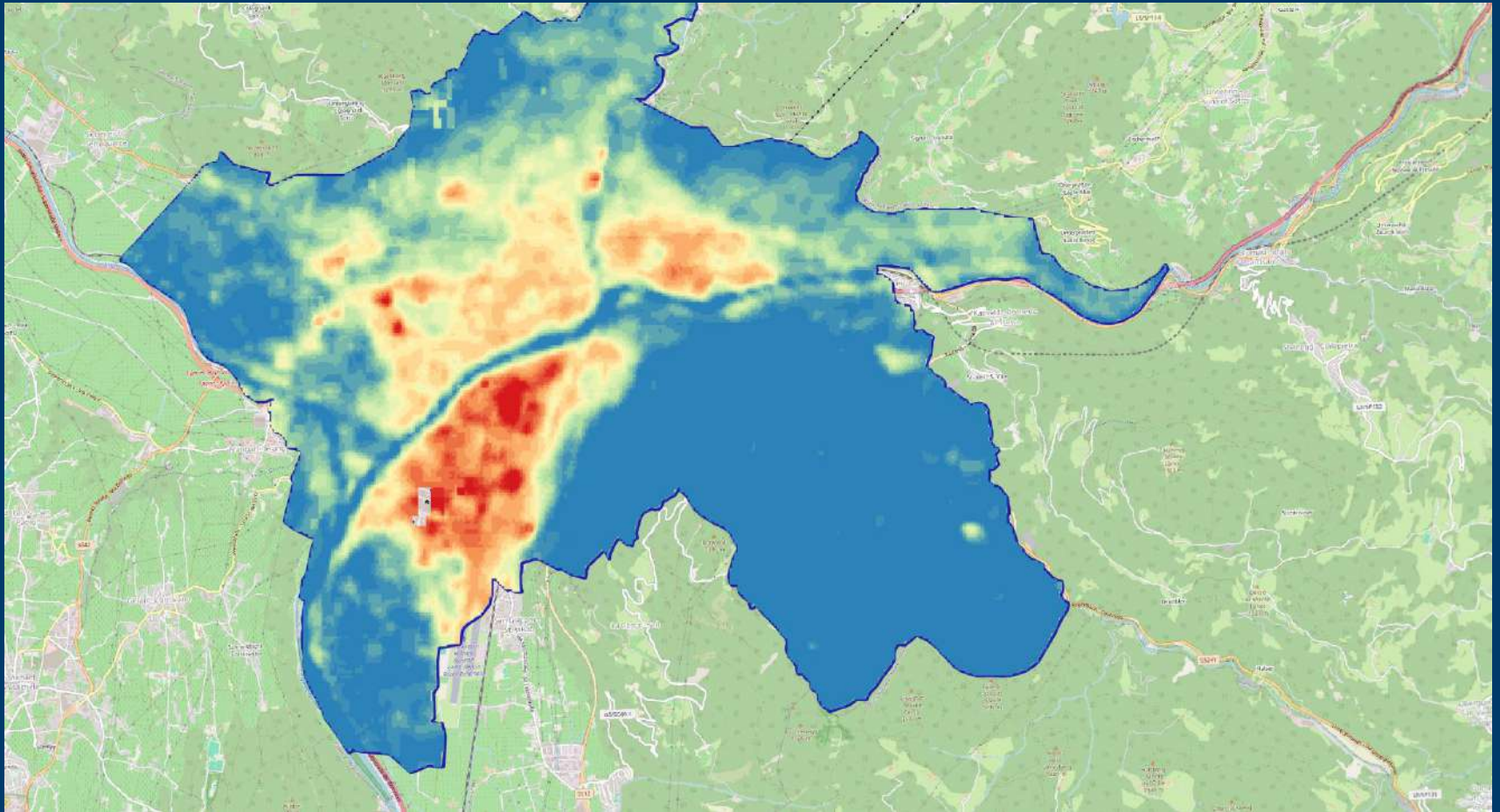
- spazi esteticamente neutri come i tetti in aree urbane praticabili, multifunzionali e sostenibili come i tetti verdi, utilizzando suolo, vegetazione e piante consentirebbe di ottenere alcuni di questi benefici
- mediamente la temperatura superficiale massima dei tetti verdi si mantiene dai 10° ai 30 ° C più bassa rispetto ai tetti tradizionali

# Bolzano: laboratorio reale per lo studio dei tetti verdi su scala urbana

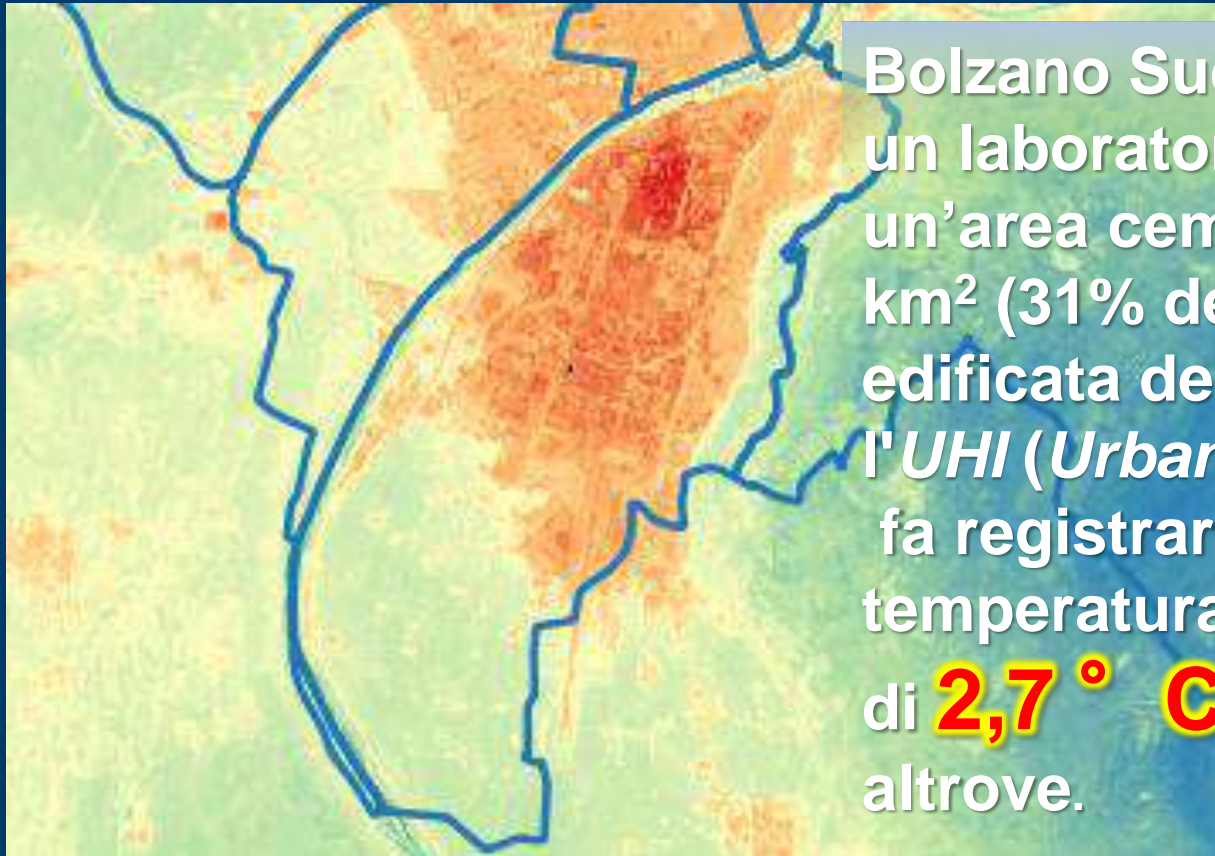


- Certificazione dell'indice *RIE* (*Building Impact Reduction*) (Abram, 2004) dal 2004 per tutti gli interventi edilizi
- *RIE* di 1,5 per le aree produttive e di 4 per quelle residenziali
- Al 2024 Bolzano è la città *leader* nell'implementazione di tetti verdi, attestandosi come un prezioso laboratorio per comprendere meglio l'effetto a lungo termine delle infrastrutture verdi sul calore urbano

# Bolzano dal satellite *Landsat 9*



# Bolzano dal satellite *Landsat 9*

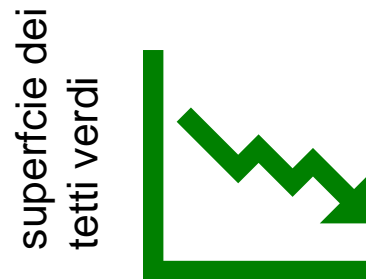


**Bolzano Sud:**  
un laboratorio reale  
un'area cementata di 4  
km<sup>2</sup> (31% dell'area  
edificata della città) dove  
l'*UHI (Urban Heat Island)*  
fa registrare una  
temperatura media diurna  
di **2,7° C** più alta che  
altrove.



## quesiti su cui indagare

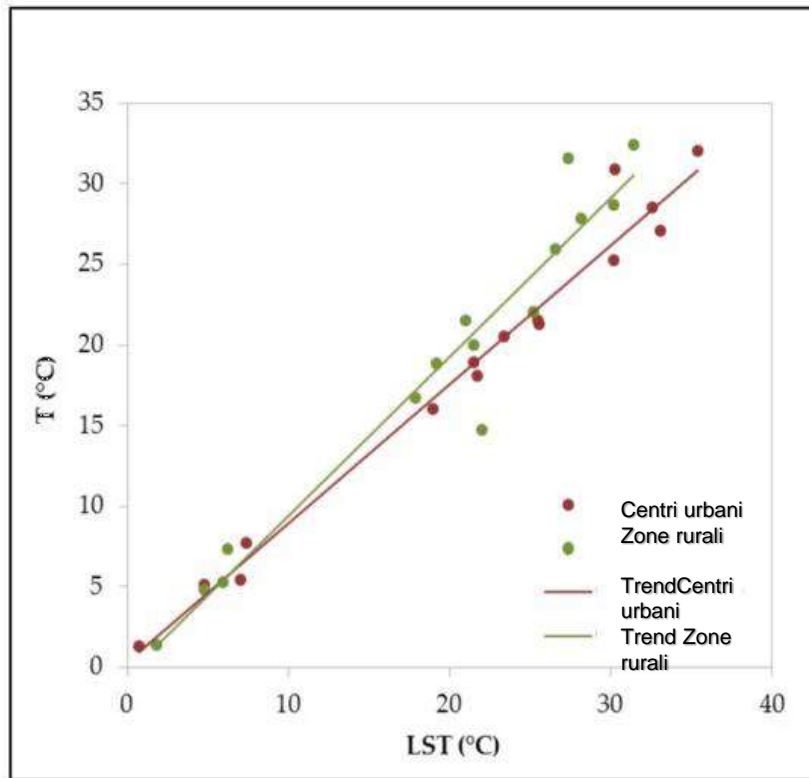
- in aree urbane ad alta densità i tetti verdi hanno un effetto di raffrescamento significativo?
- qual è l'ampiezza della zona *buffer* di raffreddamento efficace (*BCE*)?



*LST* (temperatura di superficie terrestre) dei tetti verdi



## premesse



- ❖ La temperatura di superficie terrestre è positivamente correlata alla temperatura dell'aria a livello del suolo
- ❖ i cambiamenti di uso del suolo nella città di Bolzano tra il 2004 e il 2023-2024 sono insignificanti
- ❖ le variazioni di *LST* dei tetti durante questo periodo derivano dall'implementazione di tetti verdi

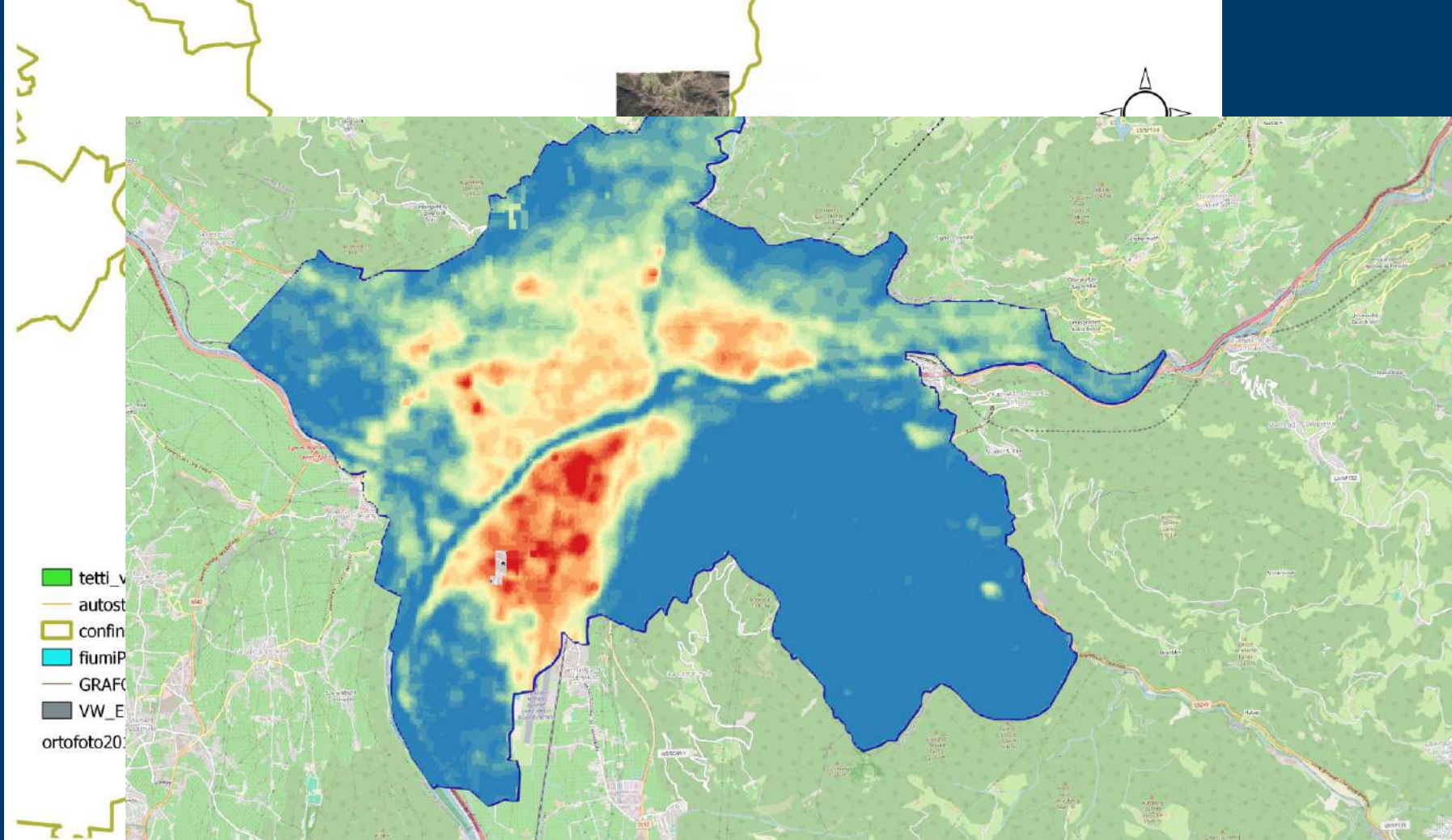


lo studio affronta due scale, meso e micro, studiando il comportamento della temperatura superficiale (*LST, Land Surface Temperature*) e mettendo in relazione i risultati con strumenti di statistica spaziale

## Misure meso-scala prima (2004) e dopo l'implementazione dei tetti verdi (fino al 2024)

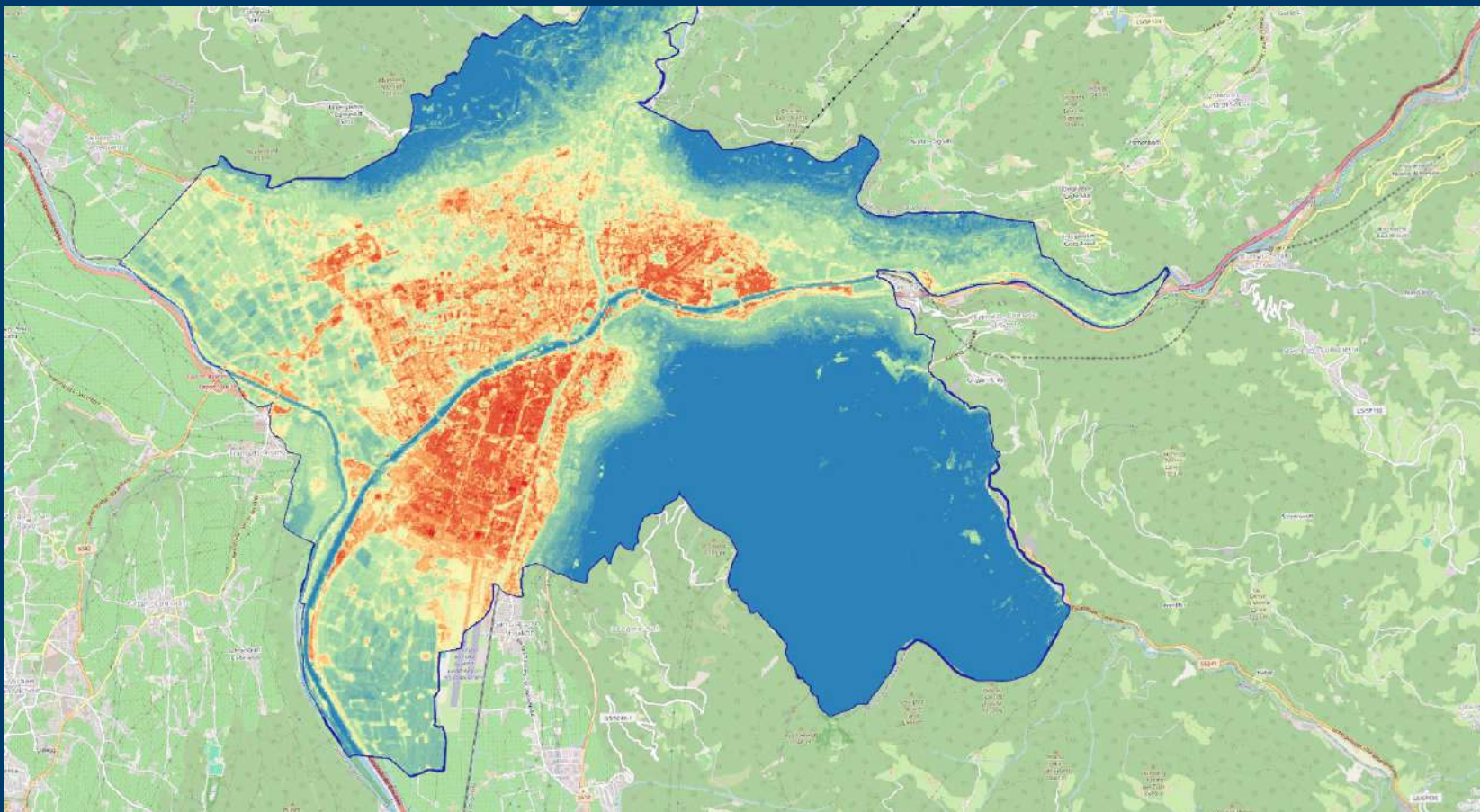
*LST (Land Surface Temperature) da Landsat 8/9 (30 m) e da Sentinel 2 (10 m)*

- per l'intera città di Bolzano
- per distretto di Bolzano sud
- per i tetti *target* verdi e tradizionali
- per le zone *buffer* di tutti i tetti



## Ortofoto e mappa *LST* di Bolzano risoluzione spaziale di 30 m

Ortofoto da *wms sit* comunale; mappa termica da acquisizione nel range termico di *Landsat 8/9*



## Mappa *LST* di Bolzano risoluzione spaziale di 10 m

*LST* sintetica da acquisizione nel range ottico di *Sentinel 2*



## tesi

$$1. \Delta T_r = T_{tm} - T_{cm} \quad (1)$$

$$2. \Delta T_b = T_{bm} - T_{tm} \quad (2)$$

$T_{tm}$  è il valore medio di *LST* dei tetti target

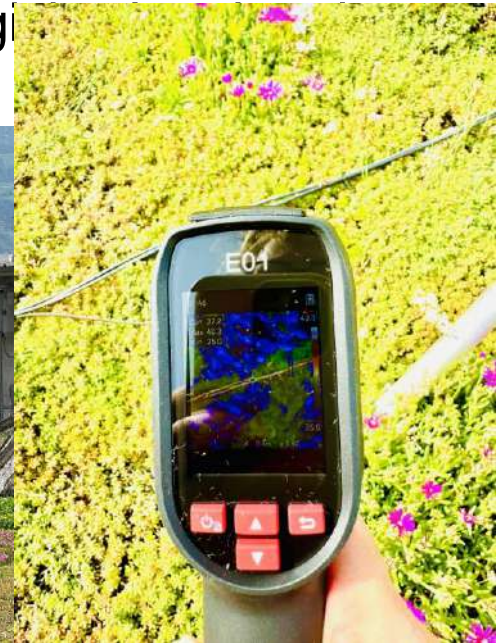
$T_{bm}$  è il valore medio *LST* della zona buffer

$T_{cm}$  è il valore medio *LST* dell'intera città di Bolzano o quartiere

assumendo che I valori di *LST* aumentino in modo significativo con  $\Delta T_b$ ,  
aumentando la zona *buffer* i valori di  $\Delta T_b$  si ridurranno, suggerendo che l'effetto  
raffreddamento non sarà più evidente

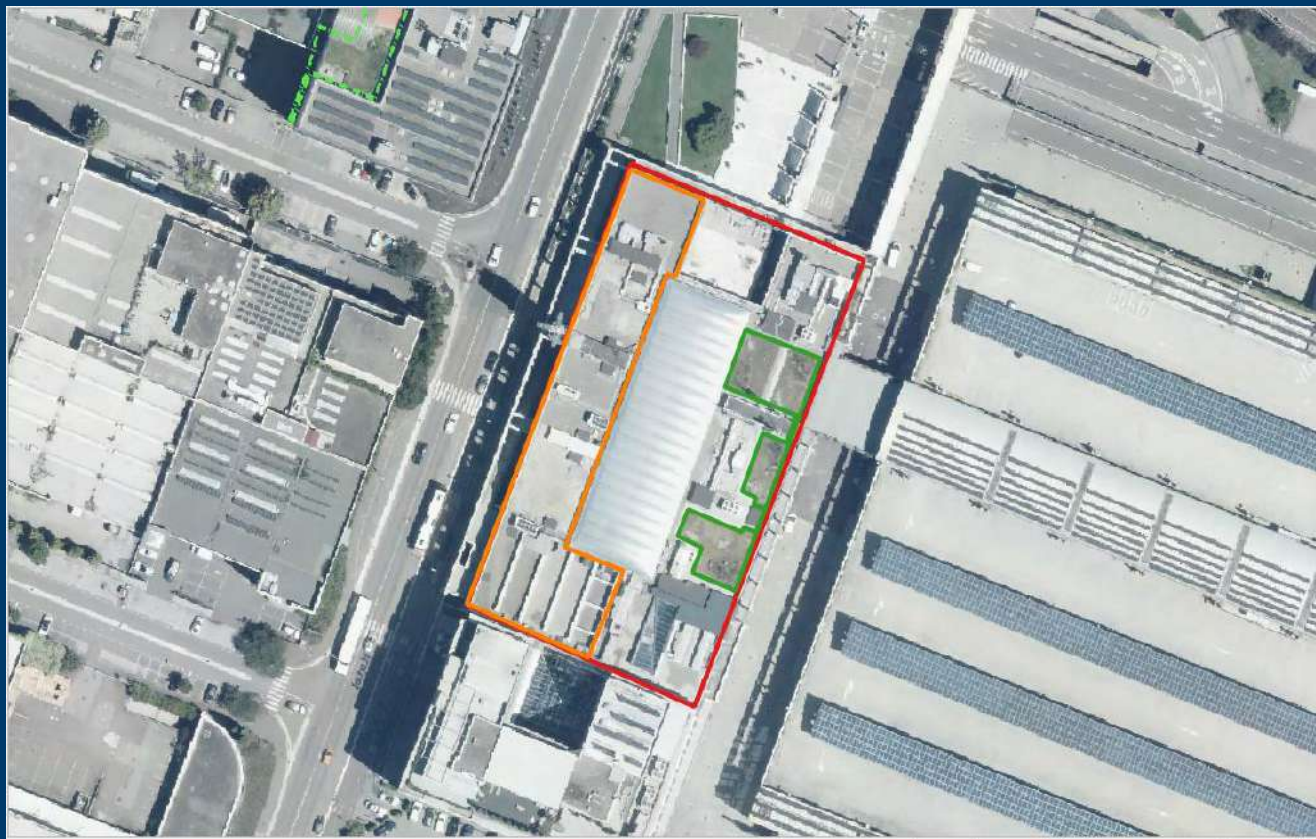
## Misure micro-scala durante la campagna sperimentale 2024

- fotopiani termici ottenuti con impiego di drone *Mavic 3 pro*
- verità al suolo attraverso stazioni meteorologiche
- e immagini termiche da camera termica





Il tetto verde intensivo della Fiera di Bolzano: vista aerea



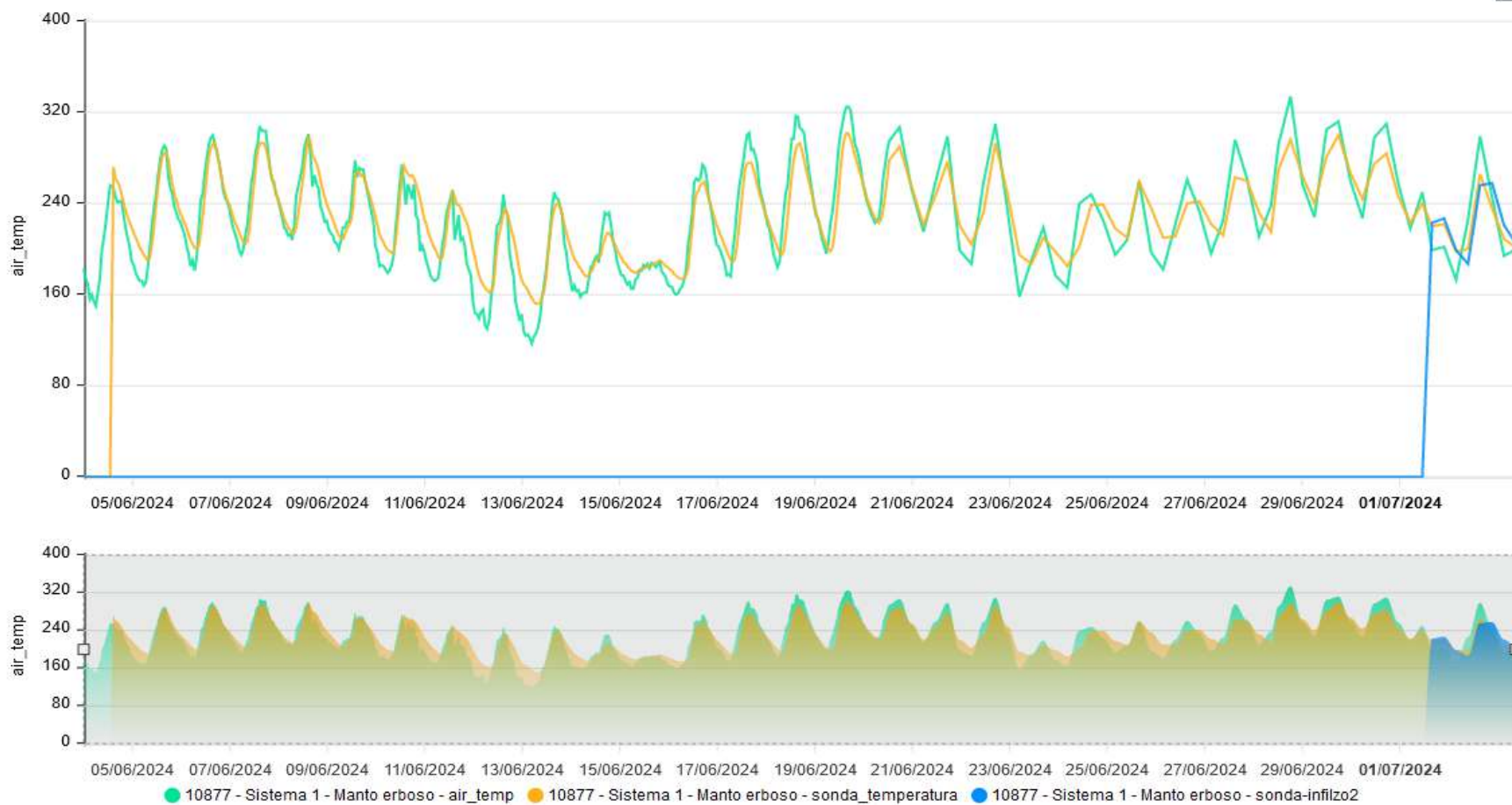
## Tetto verde della Fiera di Bolzano

Il tetto verde intensivo della Fiera di Bolzano con i vettori di forma utilizzati per il *processing*





## Stazioni meteorologiche su tetto verde

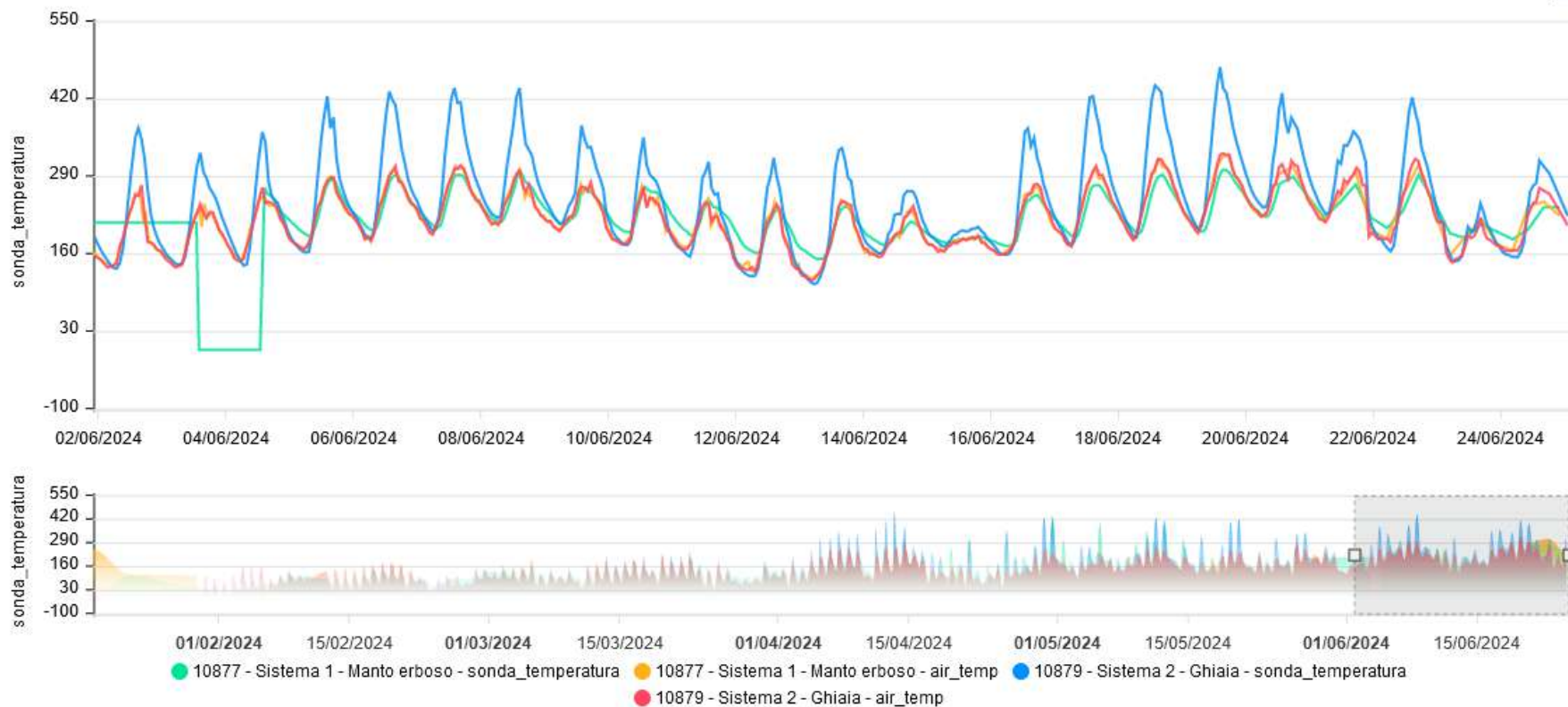


## Termogrammi da dati stazioni meteo Tetto verde Fiera di Bolzano



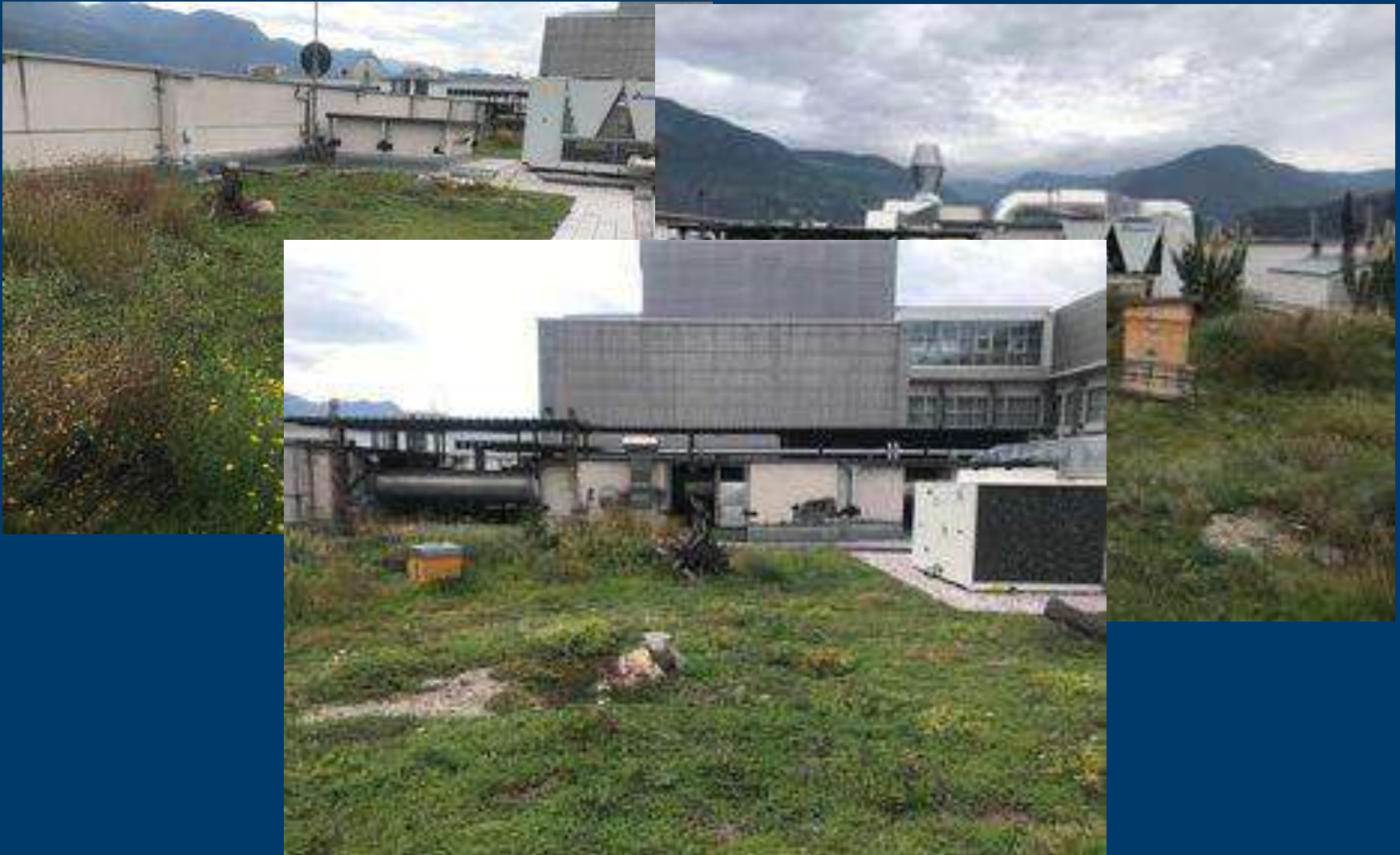
## Stazioni meteorologiche

Stazione meteo Lambrech posizionata lato ghiaia sul tetto della Fiera di Bolzano con il sensore di superficie (mattonella) e di profondità



## Termogramma globale tetto della Fiera di Bolzano

Temperatura dell'aria, sensore di superficie e di profondità per le due stazioni meteo posizionate sul tetto per entrambi i lati: lato verde e lato ghiaia; valori orari mese di giugno 2024



Il tetto verde intensivo della Fiera di Bolzano con vari elementi naturali atti a favorire un miglioramento della biodiversità



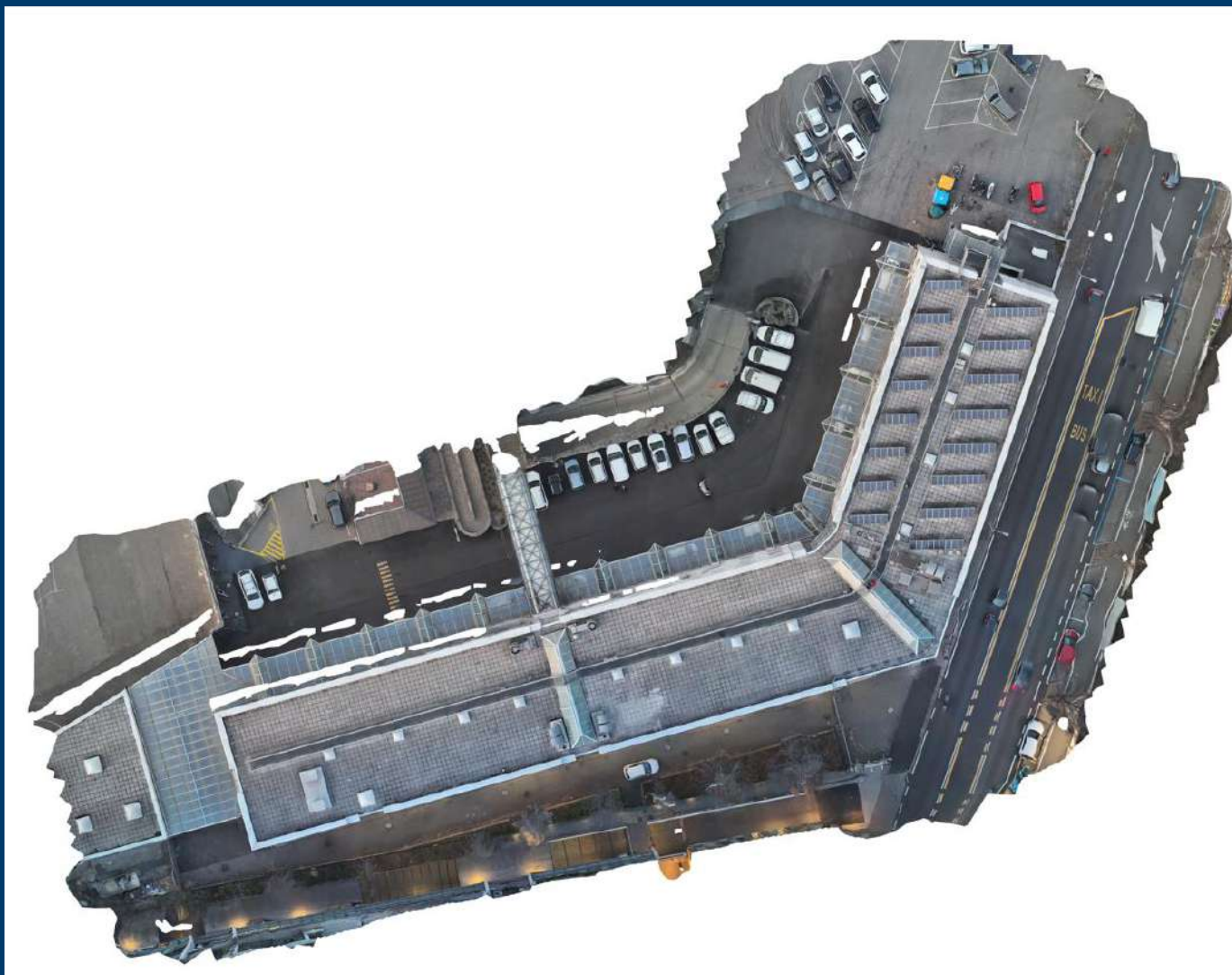
## Il tetto verde e biosolare di Via Lancia

Prima della ristrutturazione, avvenuta a Giugno 2024



## Il tetto verde e biosolare di Via Lancia

Dopo la ristrutturazione, avvenuta a Giugno 2024, con dettaglio della parte a tetto verde intensivo e a tetto verde con pannelli fotovoltaici bifacciali, ovvero tetto biosolare



## Il tetto di Via Lancia

Prima della ristrutturazione





## Il tetto verde, biosolare di Via Lancia

Dopo la ristrutturazione con dettaglio della parte a tetto verde intensivo e a tetto verde con pannelli fotovoltaici bifacciali, nonché il preesistente tetto fotovoltaico



## Tetto biosolare e fotovoltaico di Via Lancia

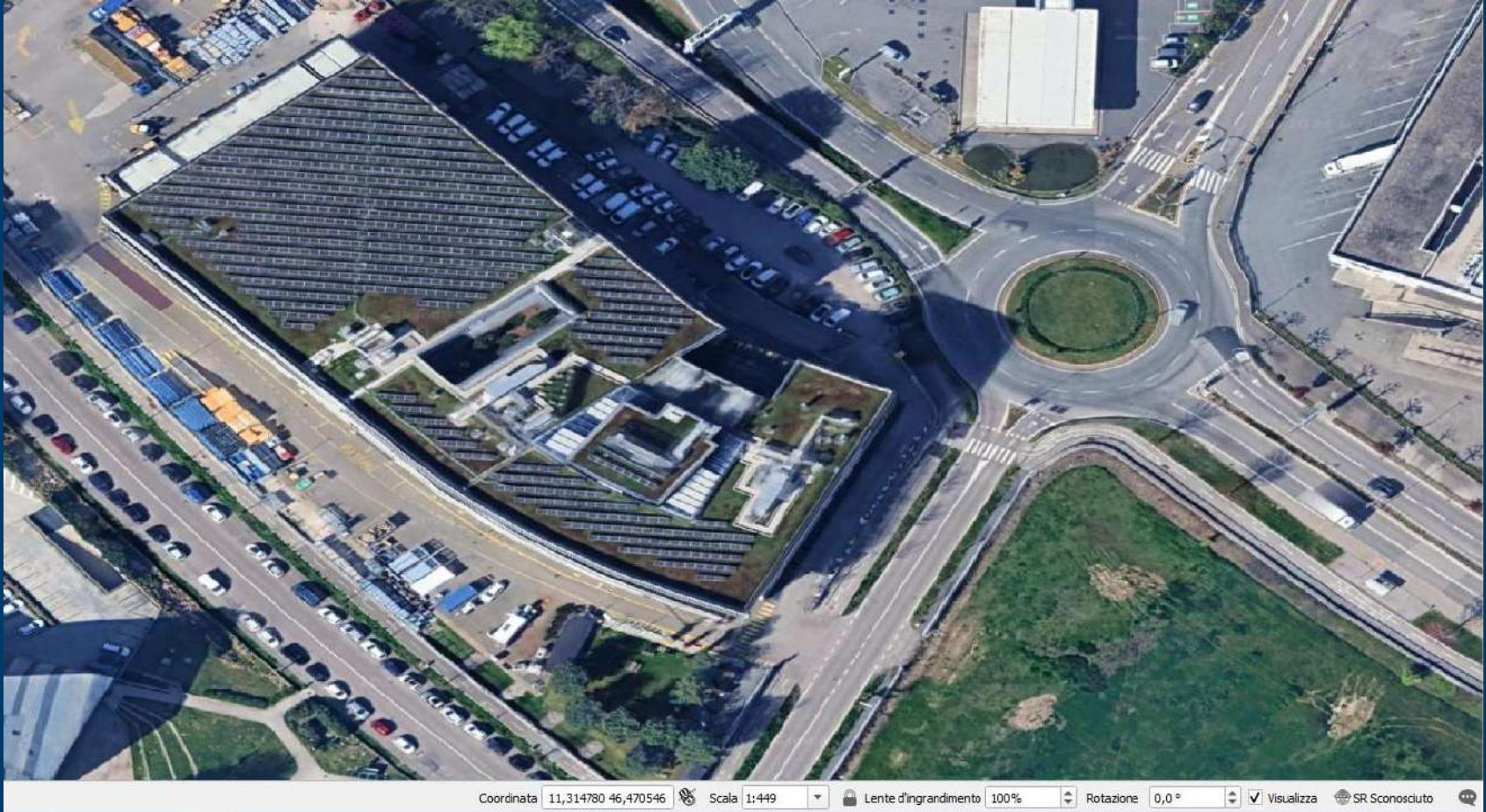
Dettagli tecnologici di entrambi gli impianti



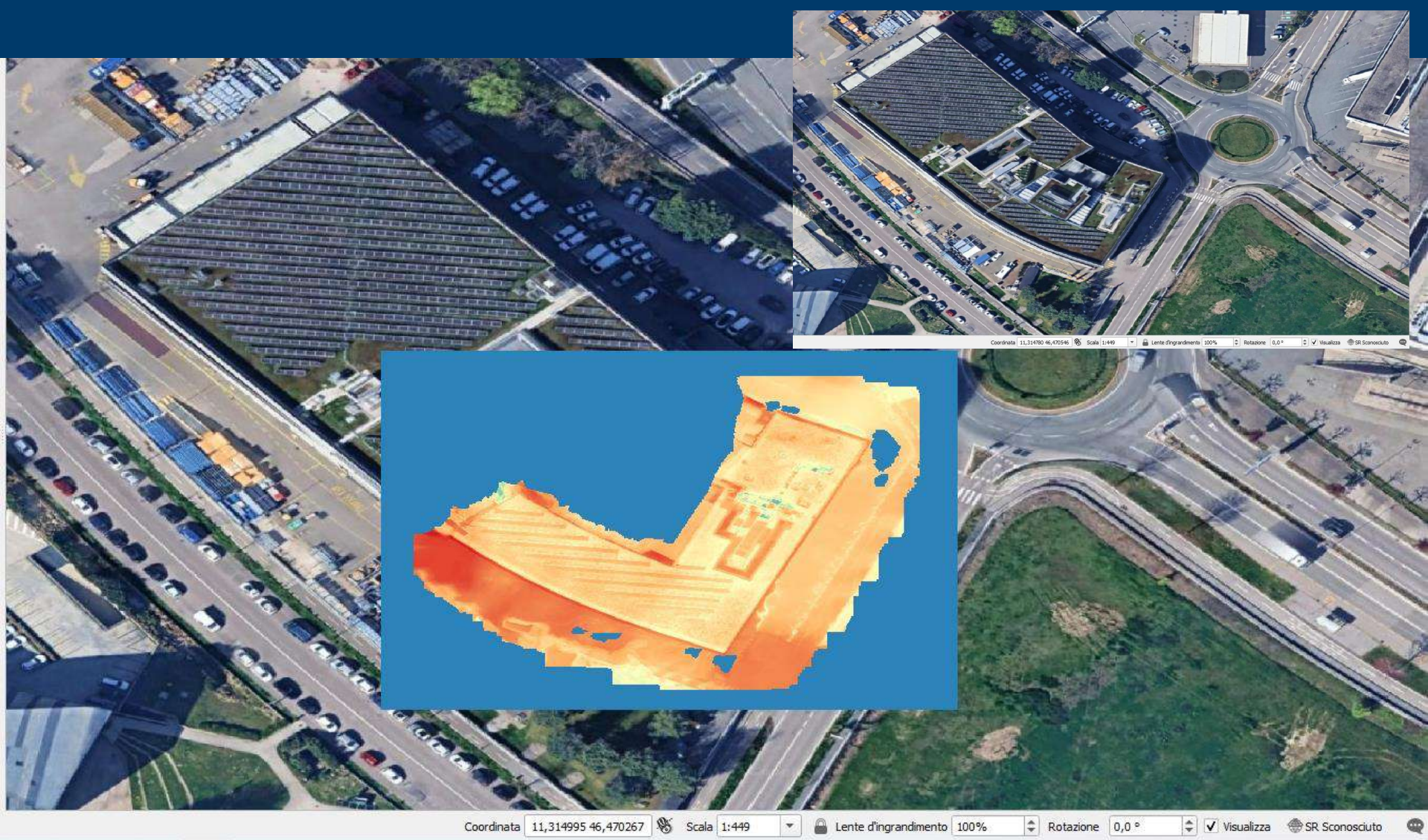
## Tetti tradizionali studiati: i quattro edifici dello Stabilimento IVECO



**Evidenza termica di un tetto tradizionale: in viola il perimetro del tetto di uno dei 4 edifici dello Stabilimento IVECO, su base ortofoto**



Stabilimento Tecnoalpin, Agosto 2024



## Fotopiano termico da drone

Fotopiano acquisito per il tetto dello stabilimento Tecnoalpin, Agosto 2024



## Area di studio: inquadramento *GIS*

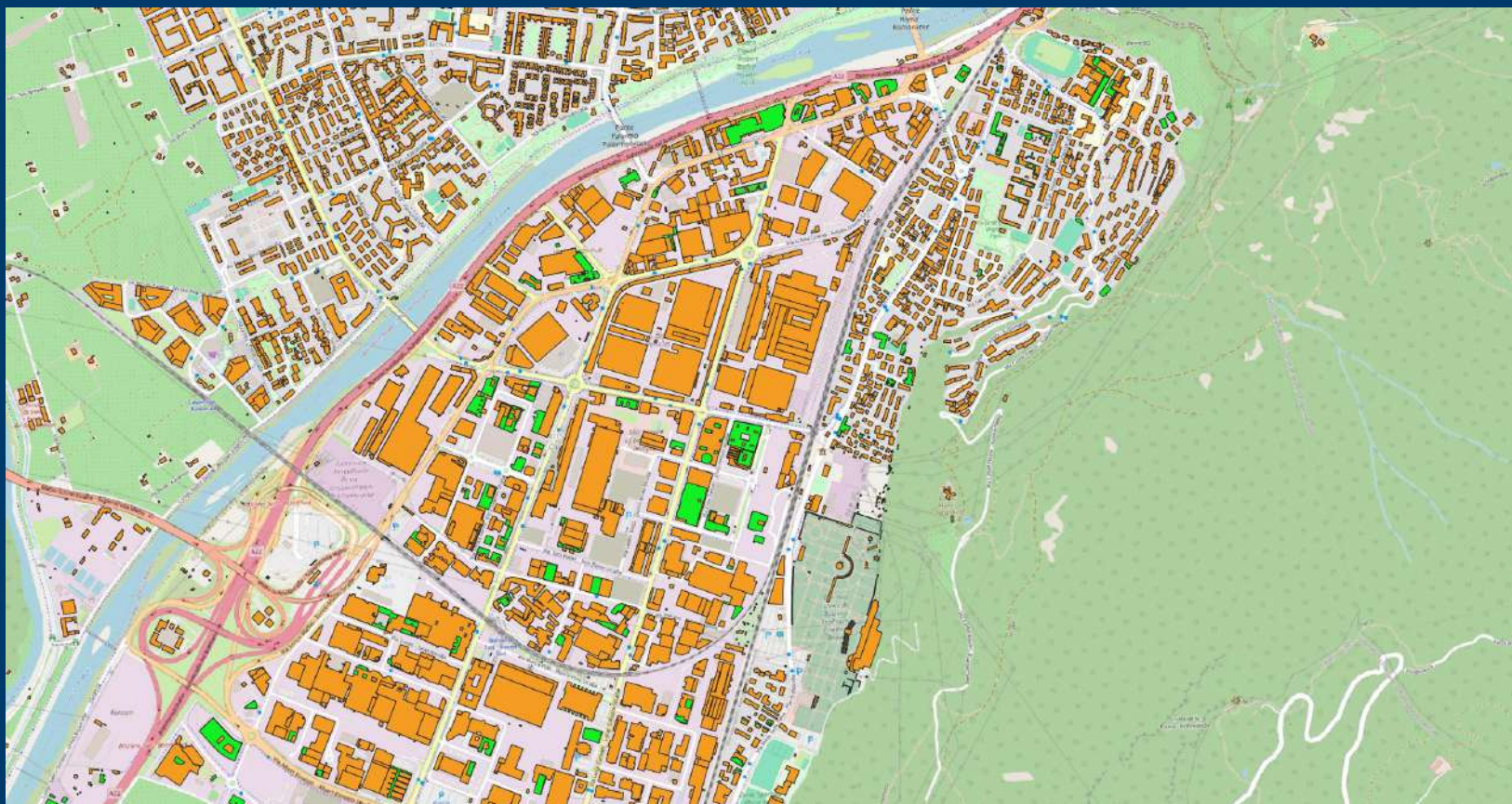
Rappresentazione *GIS* su ortofoto di Bolzano (2023) con il *layer* dell'edificato edificato al 2019 (giallo ocra) rispetto al *layer* dell'edificato al 2002 (blu)



## Area di studio: inquadramento *GIS*

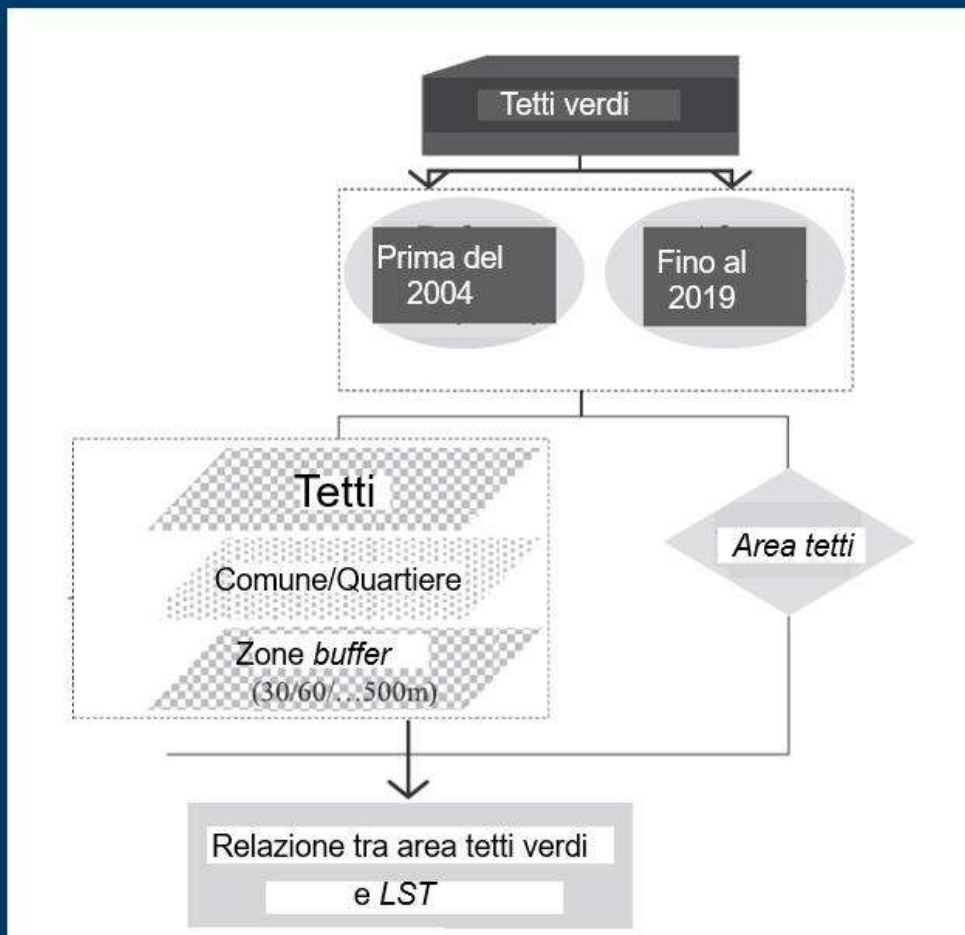
Rappresentazione *GIS* su ortofoto di Bolzano con il *layer* tetti verdi al 2019 (verde) rispetto al *layer* edificato al 2002 (blu)





## Area di studio: inquadramento GIS

Rappresentazione GIS su ortofoto di Bolzano con il *layer* tetti verdi al 2019 (verde) rispetto al *layer* edificato al 2019 (giallo ocra)



Effetto *cooling* dei tetti verdi

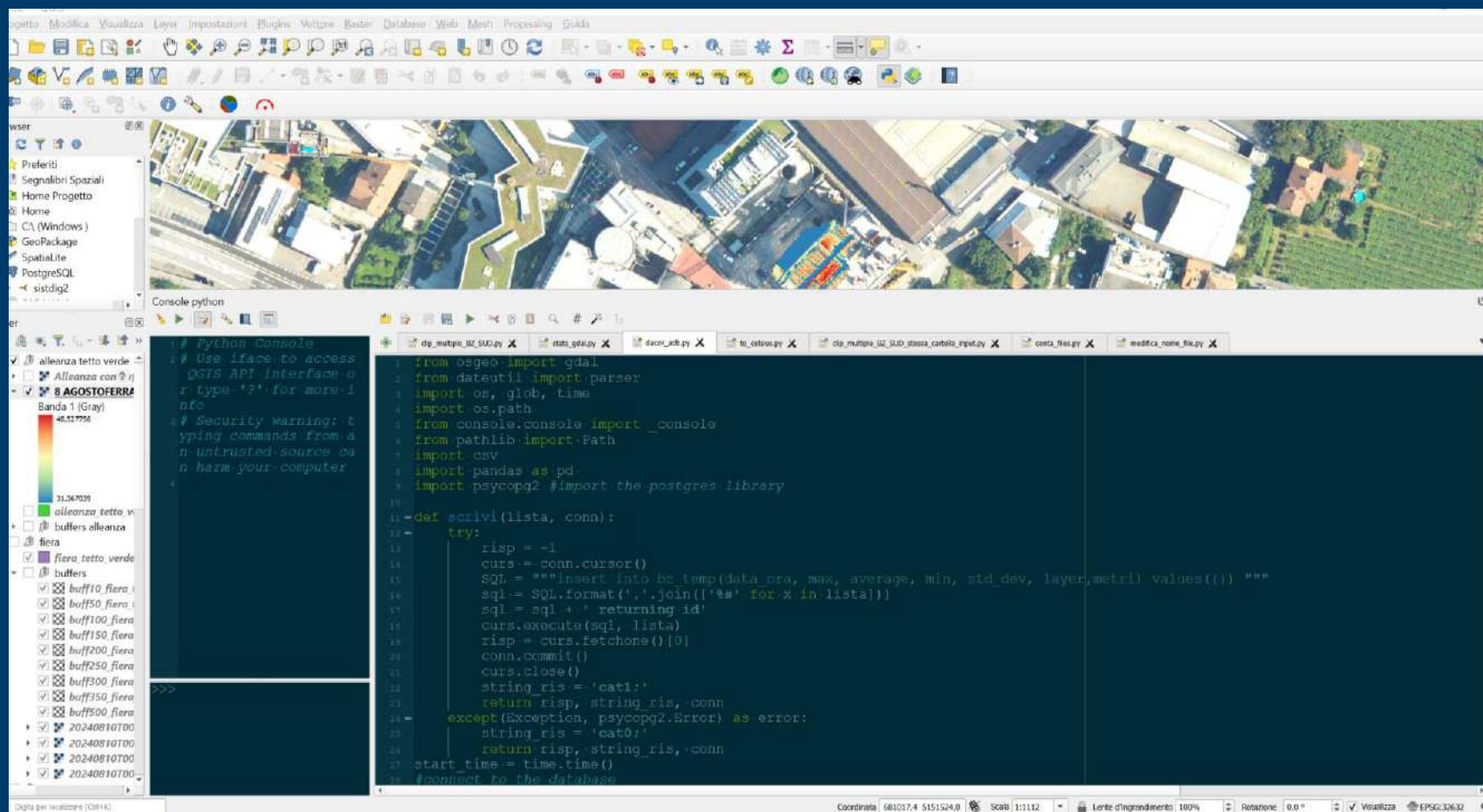
## Flusso di lavoro nella metodologia seguita

$$\Delta Tr = T_{tm} - T_{cm}$$

$T_{tm}$  è il valore medio di *LST* dei tetti target

$T_{cm}$  è il valore medio *LST* dell'intera città di Bolzano o quartiere

	valore medio		$\Delta Tr$
	<i>LST</i> Oltrisarco	<i>LST</i> tetti verdi	
dal 2000 al 2004	28.49	33.69	5,20
dal 2017 al 2019	32.00	35.72	3.72
differenza	3.51	2.03	<b>-1.48</b>



## Codice Python utilizzato per gli script



Nome	Stato	Ultima modifica	Tipo	Dimensione
alleanza	☁ R	03/12/2024 12:00	Cartella di file	
comune	☁ R	16/10/2024 15:18	Cartella di file	
edifici_bz_non_verdi_unico	☁ R	21/11/2024 11:44	Cartella di file	
edifici_oltrisarco_non_verdi_unico	☁ R	21/11/2024 11:45	Cartella di file	

Nome	Stato	Ultima modifica	Tipo	Dimensione
LT05_2000	☁ R	16/10/2024 15:50	Cartella di file	
LT05_2001	☁ R	16/10/2024 15:50	Cartella di file	
LT05_2002	☁ R	16/10/2024 15:50	Cartella di file	
LT05_2003	☁ R	16/10/2024 15:50	Cartella di file	

Nome	Stato	Ultima modifica	Tipo	Dimensione	File TIF
LT05_L2SP_192028_20040607_20200903_02_T1_ST_B6_comunebz_celsiuslveco_tetto_piatto_4	☁ R	16/09/2024 15:11	File TIF	1 KB	Microsoft Edge H...
LT05_L2SP_192028_20040607_20200903_02_T1_ST_B6_comunebz_celsiuslveco_tetto_piatto_4...	☁ R	18/09/2024 11:11	Microsoft Edge H...	1 KB	File TIF
LT05_L2SP_192028_20040911_20200903_02_T1_ST_B6_comunebz_celsiuslveco_tetto_piatto_4	☁ R	16/09/2024 15:11	File TIF	1 KB	Microsoft Edge H...
LT05_L2SP_192028_20040911_20200903_02_T1_ST_B6_comunebz_celsiuslveco_tetto_piatto_4...	☁ R	18/09/2024 11:11	Microsoft Edge H...	1 KB	File TIF
LT05_L2SP_193028_20040801_20200903_02_T1_ST_B6_comunebz_celsiuslveco_tetto_piatto_4	☁ R	16/09/2024 15:11	File TIF	1 KB	Microsoft Edge H...
LT05_L2SP_193028_20040801_20200903_02_T1_ST_B6_comunebz_celsiuslveco_tetto_piatto_4...	☁ R	18/09/2024 11:11	Microsoft Edge H...	1 KB	File TIF
LT05_L2SP_193028_20040902_20200903_02_T1_ST_B6_comunebz_celsiuslveco_tetto_piatto_4	☁ R	16/09/2024 15:11	File TIF	1 KB	Microsoft Edge H...
LT05_L2SP_193028_20040902_20200903_02_T1_ST_B6_comunebz_celsiuslveco_tetto_piatto_4...	☁ R	18/09/2024 11:11	Microsoft Edge H...	1 KB	File TIF
LT05_L2SP_193028_20040918_20200903_02_T1_ST_B6_comunebz_celsiuslveco_tetto_piatto_4	☁ R	16/09/2024 15:11	File TIF	1 KB	Microsoft Edge H...
LT05_L2SP_193028_20040918_20200903_02_T1_ST_B6_comunebz_celsiuslveco_tetto_piatto_4...	☁ R	18/09/2024 11:11	Microsoft Edge H...	1 KB	File TIF
202002101101021_Bolzano_1st_10mViaLancia_tetto_verde.tif.aux	☁ R	11/09/2024 14:43	Microsoft Edge H...		
20200221T102041_Bolzano_1st_10mViaLancia_tetto_verde	☁ R	11/09/2024 14:21	File TIF		
20200221T102041_Bolzano_1st_10mViaLancia_tetto_verde.tif.aux	☁ R	11/09/2024 14:43	Microsoft Edge H...		
20200228T101021_Bolzano_1st_10mViaLancia_tetto_verde	☁ R	11/09/2024 14:21	File TIF		
20200228T101021_Bolzano_1st_10mViaLancia_tetto_verde.tif.aux	☁ R	11/09/2024 14:43	Microsoft Edge H...		
20200324T100649_Bolzano_1st_10mViaLancia_tetto_verde	☁ R	11/09/2024 14:21	File TIF		
20200324T100649_Bolzano_1st_10mViaLancia_tetto_verde.tif.aux	☁ R	11/09/2024 14:43	Microsoft Edge H...		

Cartelle di lavoro con dati di *input* e *output*

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Area di taglio	tagli						
2		LST 30 metri	LST 10 metri		totale LST 30 metri	totale LST 10 metri		totale tagli
3	comune Bolzano intero	203	336		4872	19824		24696
4	comune Bolzano area urbana	203	336					
5	quartiere Oltrisarco intero	203	336					
6	quartiere Oltrisarco area urbana	203	336					
7	comune Bolzano intero 2002	203	336					
8	comune Bolzano area urbana 2002	203	336					
9	quartiere Oltrisarco intero 2002	203	336					
10	quartiere Oltrisarco area urbana 2002	203	336					
11	tetti verdi comune Bolzano 2002	203	336					
12	tetti verdi quartiere Oltrisarco 2002	203	336					
13	tetti non verdi comune Bolzano	203	336					
14	tetti non verdi quartiere Oltrisarco	203	336					
15	tetti non verdi comune Bolzano 2002	203	336					
16	tetti non verdi quartiere Oltrisarco 2002	203	336					
17	tetto Iveco 1	203	336					
18	tetto Iveco 2	203	336					
19	tetto Iveco 2	203	336					
20	tetto Iveco 3	203	336					
21	tetto Twenty verde 1	203	336					
22	tetto Twenty verde 2	203	336					
23	tetto Twenty fotovoltaico 1	203	336					
24	tetto Twenty fotovoltaico 2	203	336					
25	tetto Twenty fotovoltaico 3	203	336					
26	tetto Twenty totale	203	336					
27	tetto Via Lancia verde		336					
28	tetto Via Lancia fotovoltaico		336					
29	tetto Via Lancia verde fotovoltaico		336					
30	tetto Fiera verde		336					
31	tetto Fiera opposto		336					
32	buffer 10 metri Fiera verde		336					
33	buffer 10 metri Fiera opposto		336					
34	buffer 50 metri Fiera verde		336					
35	buffer 50 metri Fiera opposto		336					
36	buffer 100 metri Fiera verde		336					
37	buffer 100 metri Fiera opposto		336					
38	buffer 150 metri Fiera verde		336					
39	buffer 150 metri Fiera opposto		336					
40	buffer 200 metri Fiera verde		336					

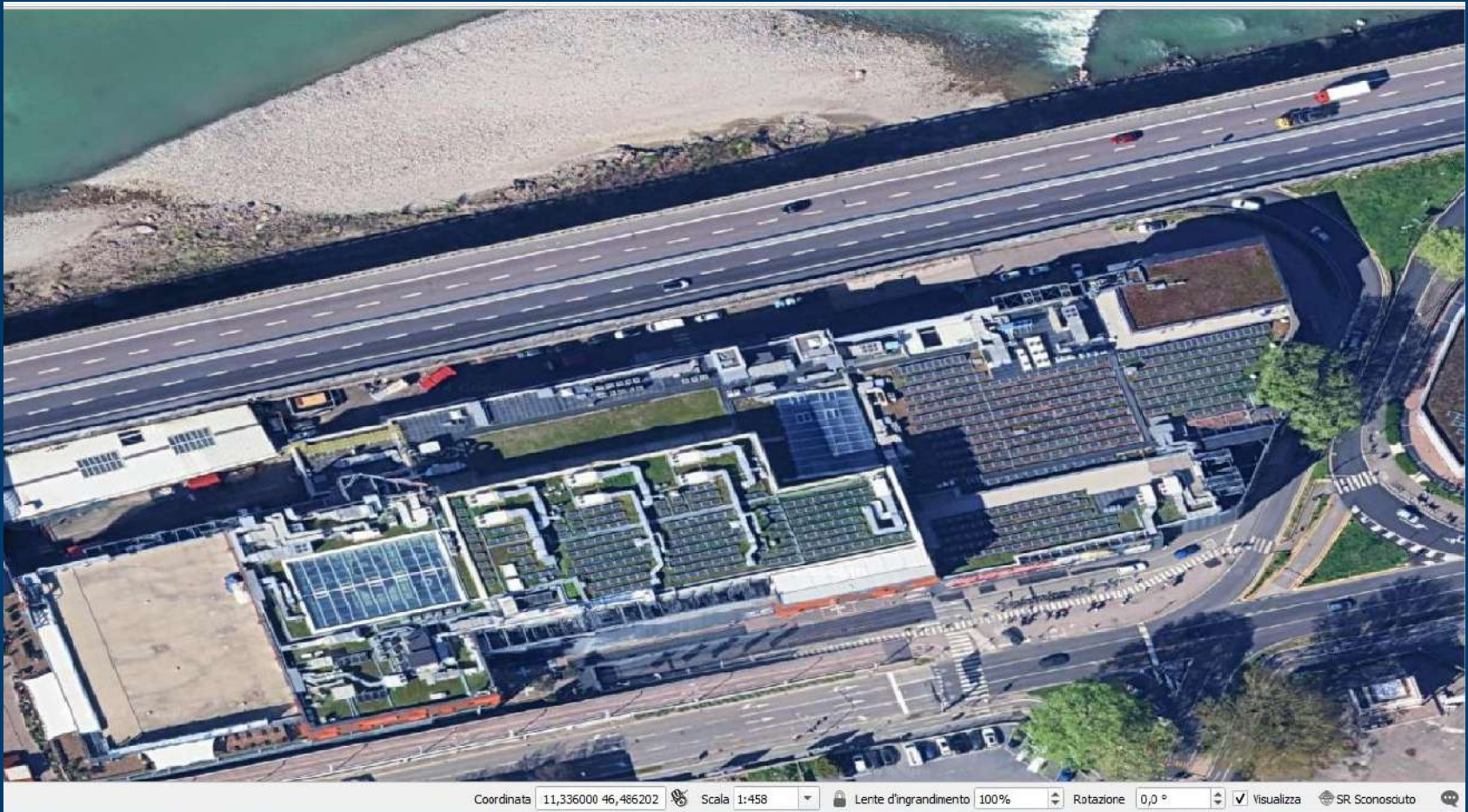
	A	B	C	D
28	tetto Via Lancia fotovoltaico		336	
29	tetto Via Lancia verde fotovoltaico		336	
30	tetto Fiera verde		336	
31	tetto Fiera opposto		336	
32	buffer 10 metri Fiera verde		336	
33	buffer 10 metri Fiera opposto		336	
34	buffer 50 metri Fiera verde		336	
35	buffer 50 metri Fiera opposto		336	
36	buffer 100 metri Fiera verde		336	
37	buffer 100 metri Fiera opposto		336	
38	buffer 150 metri Fiera verde		336	
39	buffer 150 metri Fiera opposto		336	
40	buffer 200 metri Fiera verde		336	
41	buffer 200 metri Fiera opposto		336	
42	buffer 250 metri Fiera verde		336	
43	buffer 250 metri Fiera opposto		336	
44	buffer 350 metri Fiera verde		336	
45	buffer 350 metri Fiera opposto		336	
46	buffer 500 metri Fiera verde		336	
47	buffer 500 metri Fiera opposto		336	
48	tetto Alleanza verde		336	
49	buffer 10 metri Alleanza verde		336	
50	buffer 20 metri Alleanza verde		336	
51	buffer 30 metri Alleanza verde		336	
52	buffer 40 metri Alleanza verde		336	
53	buffer 50 metri Alleanza verde		336	
54	buffer 60 metri Alleanza verde		336	
55	buffer 70 metri Alleanza verde		336	
56	buffer 80 metri Alleanza verde		336	
57	buffer 90 metri Alleanza verde		336	
58	buffer 100 metri Alleanza verde		336	
59	buffer 200 metri Alleanza verde		336	
60	buffer 300 metri Alleanza verde		336	
61	buffer 350 metri Alleanza verde		336	
62				
63				
64				
65				
66				
67				

totale LST 30 metri	totale LST 10 metri	totale tagli
4872	19824	24696

## Operazioni di *processing* sui *raster* satellitari dei tetti *target* di Bolzano

fonte dato	tipologia dato	sviluppo del dato
dati meteo provincia	grafico degli scarti medi negli anni grafico degli scarti mensili giornalieri rispetto alla media pluriennale dati giornalieri min e max	
Bolzano comune	layer tetti verdi al 2019 edificato al 2019 carta tecnica vettoriale al 2002 ortofoto 2003/2006/2010/2012/2016/2022/2023 carta tecnica raster al 2002 shape di base	
dati meteo da stazioni su Fiera e Lancia	dati giornalieri min, max, med ecc	grafici andamento giornaliero temperatura aria
dati satellitari	LST 30 m LST 10 m	LST poligono tetti verdi al 2019 LST poligono tetti non verdi al 2019 LST singoli tetti target buffers grafici andamento LST negli anni
dati da drone	fotopiani RGB fotopiani termico	LST singoli tetti target

**Dati di *input* e *output*: GIS, meteo, satellitari, LST, grafici...**



## Tetto verde complesso: il Centro commerciale *Twenty*

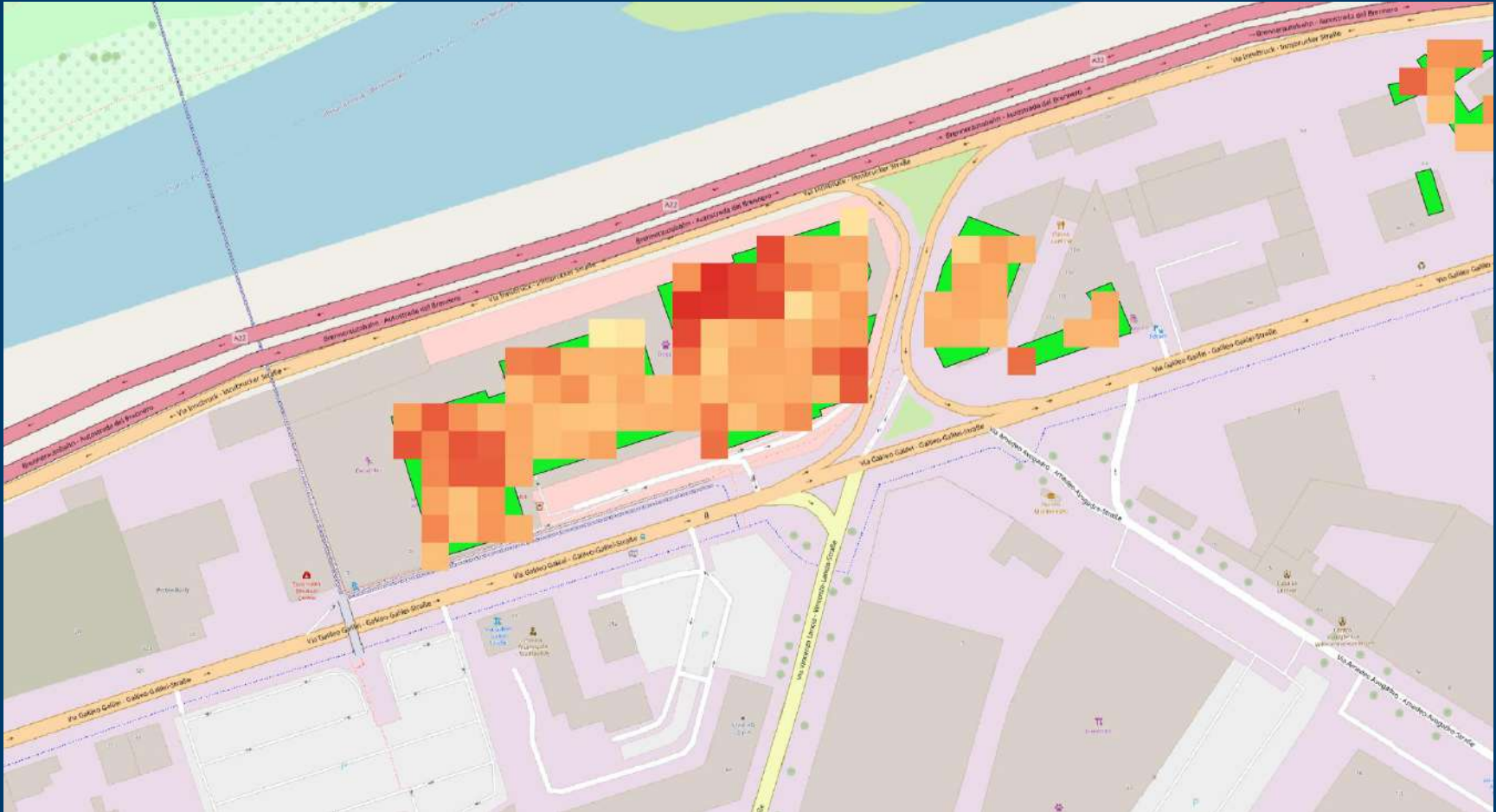
Tetto verde complesso su piu' livelli: tetti estensivi e tetti biosolari



## Immagine termica del tetto del *Twenty*

Risultato del *processing* con risoluzione spaziale di 30 m: i tetti di dimensioni inferiori al *pixel* di riferimento non vengono intercettati





## Immagine termica del *Twenty*

Risultato del *processing* con risoluzione spaziale di 10 m: anche i tetti piu' piccoli vengono intercettati





count	anno	mese	mese	LST	LST tetti verdi unico oltrisarco 30 m		differenza tra valori medi di LST tra layer tetti verdi unico e valori medi LST quartiere oltrisarco al 2004							LST	LST tetti verdi unico oltrisarco 30 m
				avg oltrisarco	avg		al 2019	avg oltrisarco	avg						
2	2000	6	giu	32.69222914	38.59734513	5.91	5.97	2	2017	6	giu	40.43240615	46.39823009		
2	2000	8	ago	32.83145302	38.9380531	6.11	4.78	2	2017	7	lug	24.97344875	29.7521239		
1	2001	6	giu	7.642579265	12.71681416	5.07	4.64	4	2017	8	ago	34.42961	39.06858407		
1	2001	7	lug	31.5462945	38.30088496	6.75	2.57	1	2017	9	set	21.90964793	24.47787611		
2	2001	8	ago	34.24012838	40.61946903	6.38	5.31	4	2018	6	giu	38.08838261	43.40044248		
2	2001	9	set	22.19631395	24.7920354	2.60	-6.74	1	2018	7	lug	12.11807041	5.380530973		
1	2002	5	mag	33.41947092	38.87610619	5.46	5.41	2	2018	8	ago	42.2410037	47.65044248		
2	2002	6	giu	20.35582512	25.60619469	5.25	3.47	1	2018	9	set	32.15083147	35.61946903		
2	2003	7	lug	35.55183816	41.14159292	5.59	4.13	2	2019	5	mag	29.63134604	33.76106195		
2	2003	8	ago	28.50612721	34.97787611	6.47	5.79	4	2019	6	giu	38.3381881	44.12389381		
2	2003	9	set	21.46289632	24.51769912	3.05	4.98	3	2019	7	lug	37.34691694	42.32448378		
1	2004	6	giu	37.16728263	43.32743363	6.16	4.70	2	2019	8	ago	34.81822603	39.52212389		
1	2004	8	ago	38.35401673	44.76106195	6.41	3.38	2	2019	9	set	29.5201809	32.89823009		
3	2004	9	set	22.90883745	24.51622419	1.61									
							<b>5.20</b>	<b>3.72</b>	<b>-1.5</b>						

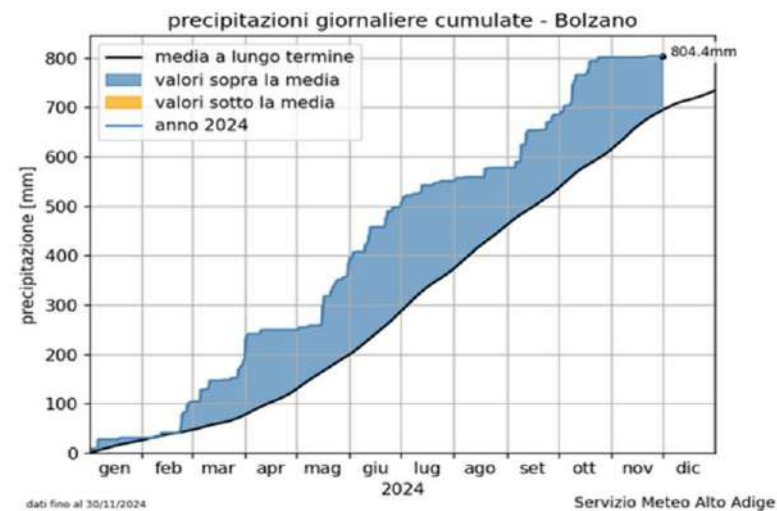
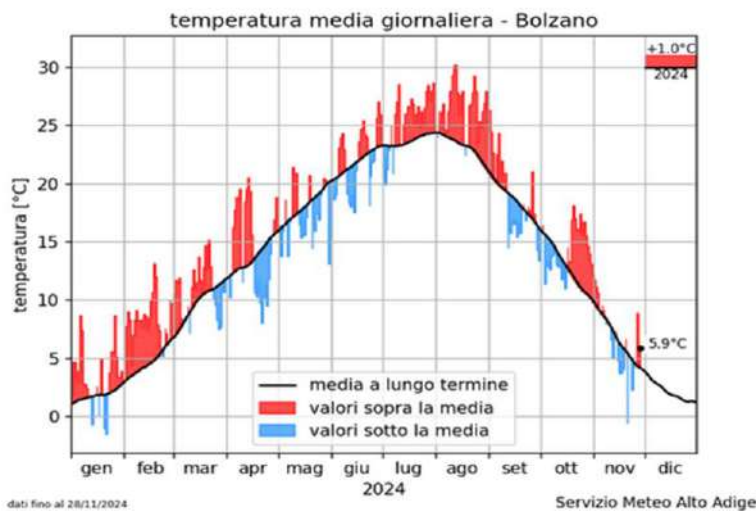
**ipotesi di analisi**

Il Poligono unico tetti verdi è verosimilmente databile al 2019; a partire dal 2004 si è accresciuto sebbene ad oggi non conosciamo l'entità dell'accrescimento e quindi la dimensione per anno. Usando il poligono per tagliare LST dal 2000 al 2004 (anno zero dei tetti verdi), nell'ipotesi che tutti i tetti verdi al 2019 siano esistiti al 2000/2004 come tetti tradizionali, significa conoscere il valore medio della LST dell'insieme di quei tetti quando erano normali. Quindi a rigore un confronto giusto sarebbe il taglio derivante dal poligono al 2019 perché comprenderebbe gli stessi tetti ma tutti verdi. Nel 2018 pochi sono stati i progetti di tetti verdi autorizzati pertanto il poligono tetti verdi che usiamo possiamo ritenerlo quasi identico e usarlo per tagliare su 2 anni da poter contrapporre ai 4 anni ante RIE. Ci possiamo azzardare a includere anche il 2017 (anno in cui sarebbero stati approvati sui 70 progetti di RIE che magari sono stati attuati entro l'estate). In tal modo avremmo un totale di valori LST equivalenti da confrontare ma per poter escludere il fattore trend climatico in aumento possiamo pensare di fare la differenza tra lst poligono unico tetti verdi e lst di tutta Bolzano. Fatte queste differenze poi si confrontano tra di loro per valutare se c'è una differenza possibilmente in negativo nel senso che nel 2004 la differenza tra lst comune e lst poligono dovrebbe essere minore rispetto alla differenza tra lst comune e lst poligono nel 2019.

**possibile miglioramento**

se si potesse risalire all'urbano ante 2004 il dato sarebbe oggettivamente ancora più pulito perché non terrebbe conto delle aree di verde urbano e delle relative modifiche nel tempo. In tal senso l'eventuale fornitura di un layer databile intorno al 2004 sarebbe l'ideale diversamente bisogna procedere con l'NDVI usando come controllo il layer urbano recente rispetto al quale confrontare l'NDVI e stabilire le soglie per procedere con il calcolo del NDVI del passato.

# Calcolo della differenza tra i valori medi di LST del layer tetti verdi tra gli anni 2000-2004 (ancora non verdi) e gli anni 2017-2019 nel quartiere Oltrisarco di Bolzano.



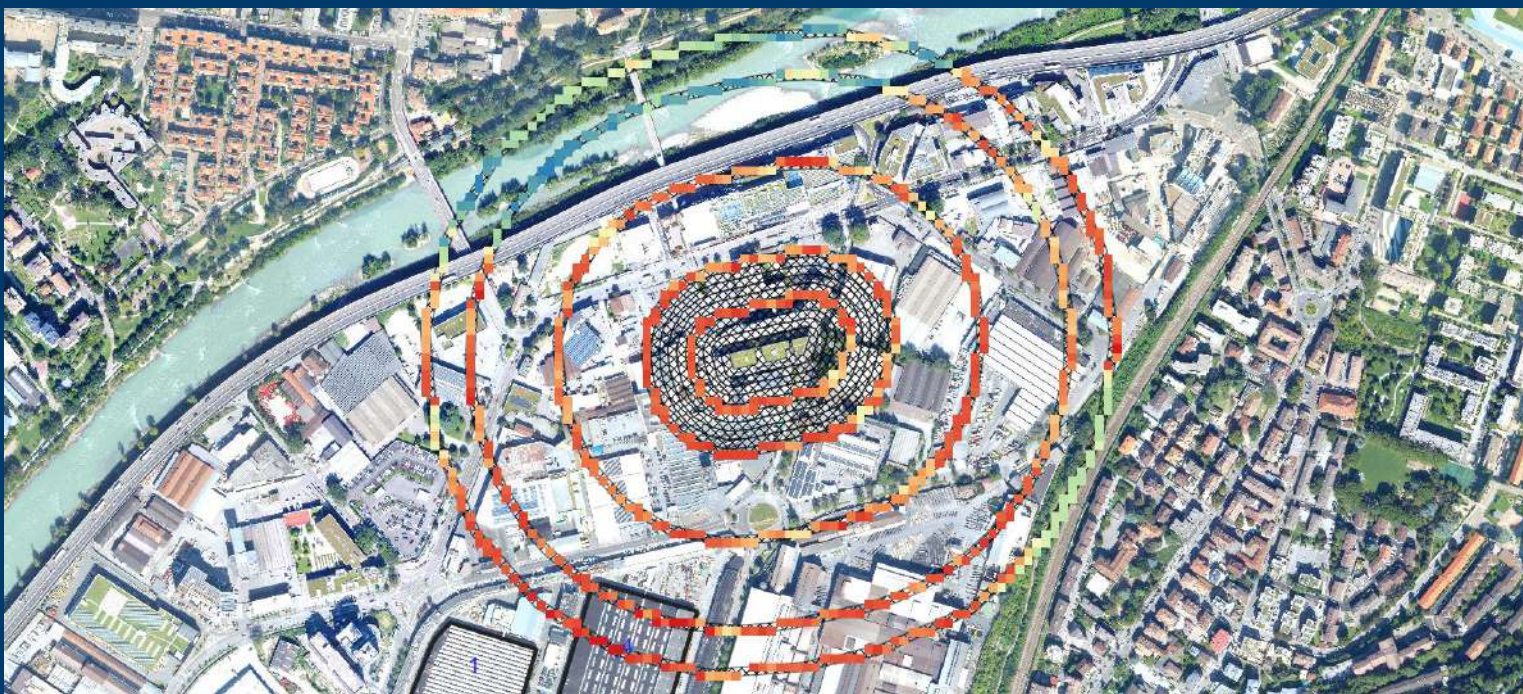
## Andamento meteo mese di agosto Bolzano

Differenze rispetto al trend medio su serie storiche

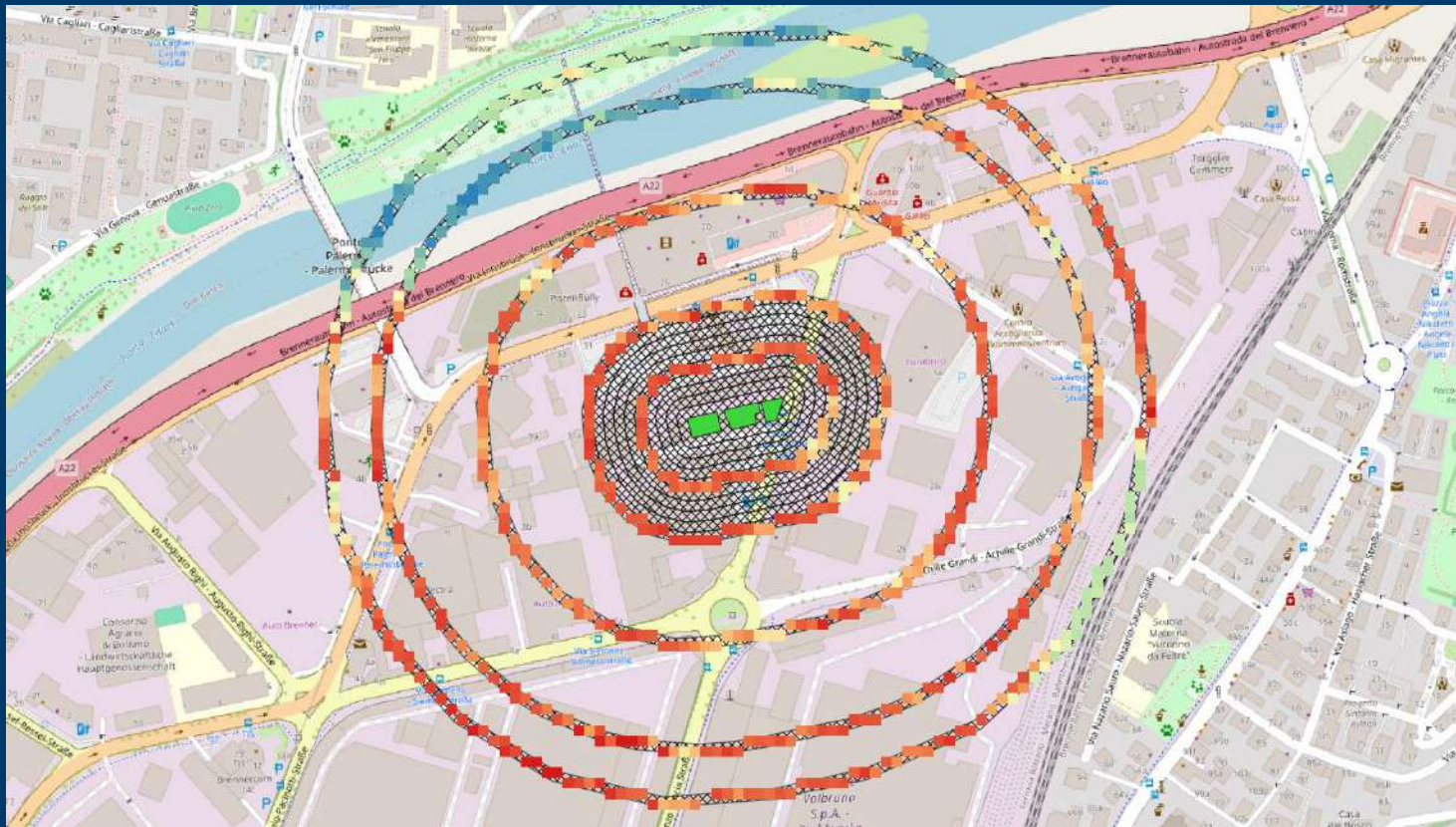
		differenza tra valori medi di LST tra layer		K	L	M	N	O
count	anno	tetti verdi unico e valori medi LST quartiere						
		oltrisarco al 2004		al 2019		count	anno	
2	2000	5.91	5.97	2	2017	6	giu	
2	2000	6.11	4.78	2	2017	7	lug	
1	2001	5.07	4.64	4	2017	8	ago	
1	2001	6.75	2.57	1	2017	9	set	
2	2001	6.38	5.31	4	2018	6	giu	
2	2001	2.60	-6.74	1	2018	7	lug	
1	2002	5.46	5.41	2	2018	8	ago	
2	2002	5.25	3.47	1	2018	9	set	
2	2003	5.59	4.13	2	2019	5	mag	
2	2003	6.47	5.79	4	2019	6	giu	
2	2003	3.05	4.98	3	2019	7	lug	
1	2004	6.16	4.70	2	2019	8	ago	
1	2004	6.41	3.38	2	2019	9	set	
3	2004	1.61						
		<b>5.20</b>	<b>3.72</b>			<b>-1.5</b>		

$$\Delta T_b = T_{bm} - T_{tm}$$

## Effetto cooling dei tetti verdi di Bolzano



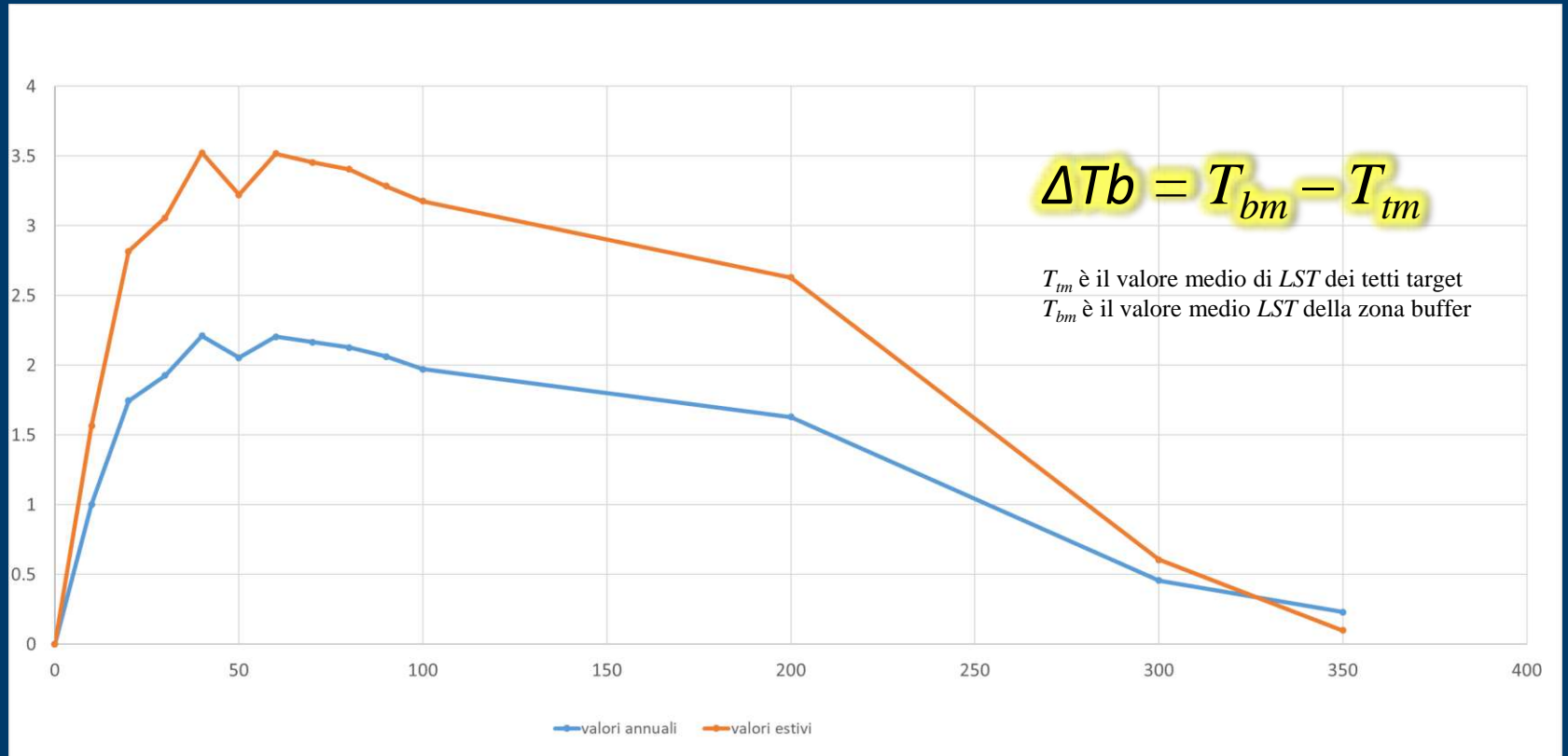
## Tetto edificio Alleanza, adiacente edificio comunale di Via Lancia, e suoi *buffers*



## Tetto edificio Alleanza e suoi *buffers*



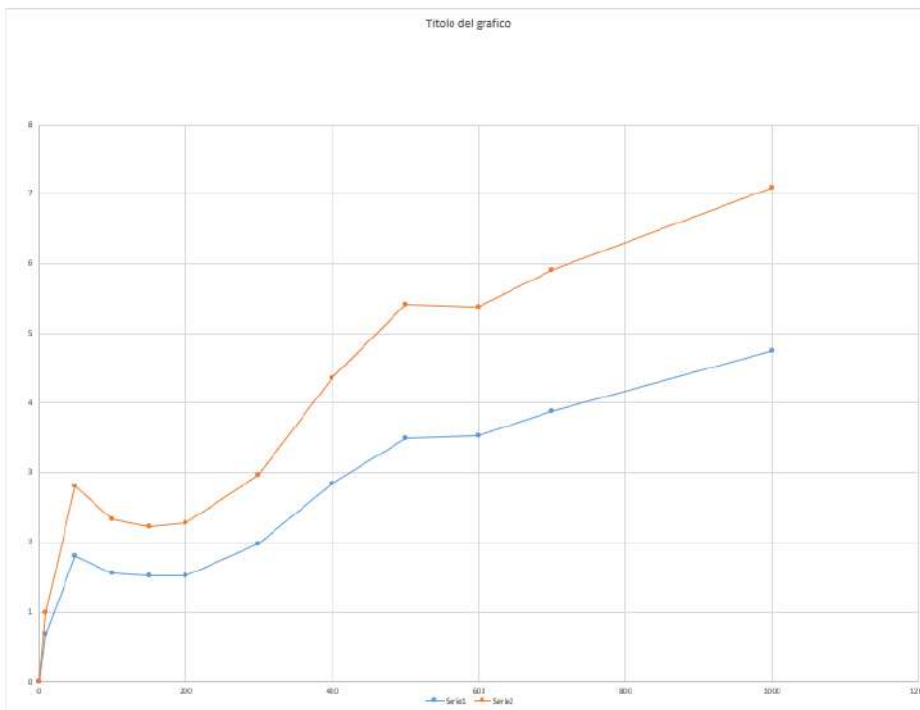




## Andamento della differenza tra il tetto verde Alleanza e i suoi *buffers*

Due stagionalità

nel nostro caso i dati sono le differenze calcolate al contrario nel foglio denominato 10 metri ma riferite ad un ruolo tetto verde: quello di altezza che esiste da almeno il 2006 (da ortofoto) che ho corretto seguendo questo criterio, sebbene alla fine si possono lasciare calcolate nel modo precedente cambiando solo il segno da negativo in positivo ovviamente



metri	globale	estivo
0	0	0
10	0.605100500	0.3056
50	1.8102644	2.873
100	1.55506500	2.0030
150	1.520473395	2.22
200	1.51722643	2.273
300	1.37997872	2.3602
400	2.836306571	4.3585
500	3.50257345	5.479
600	3.54062233	5.3676
700	3.88274327	5.395
1000	4.74598285	7.0356

LE



10 metri

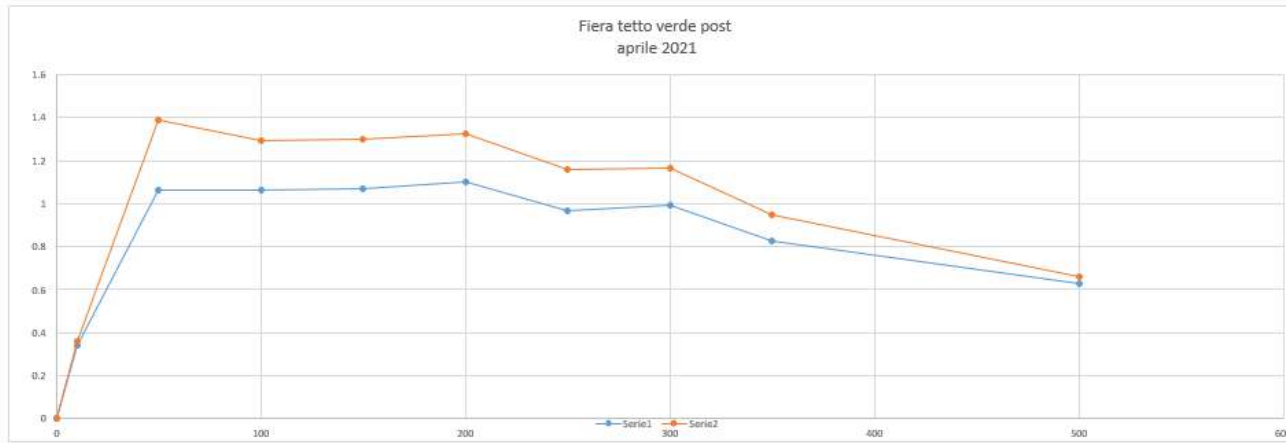
t test tra tetto verde e buffer

t test tra le differenze di LST

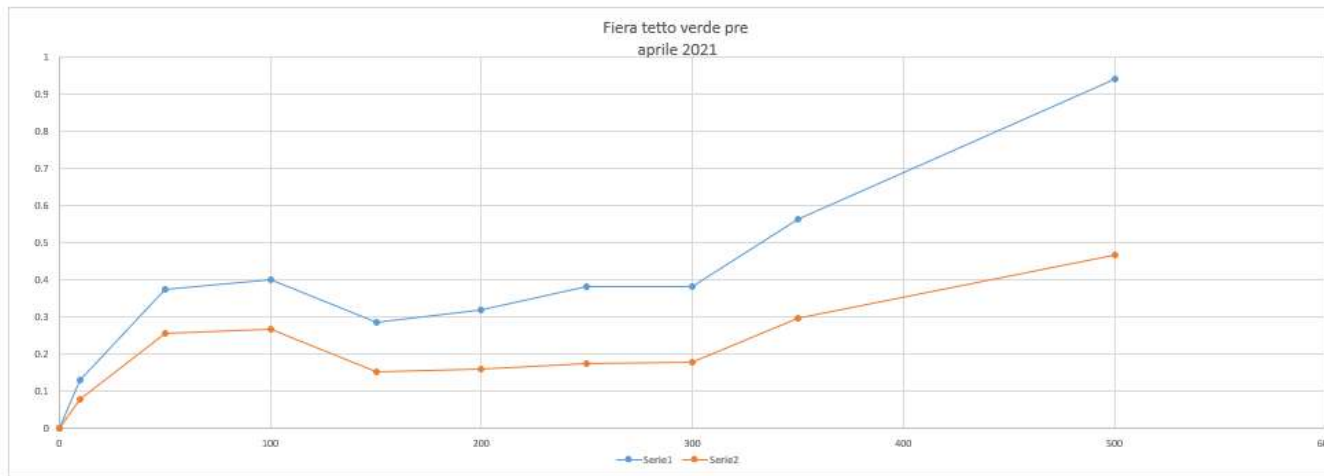


# Andamento della differenza tra i tetti di IVECO e i suoi buffers

che ho corretto seguendo questo criterio, sebbene alla fine si possano lasciare calcolate nel modo precedente



metri	globale	estivo
0	0	0
10	0.34097671	0.36243
50	1.066098727	1.38898
100	1.064271323	1.29638
150	1.067823879	1.3021
200	1.102648975	1.32683
250	0.968443978	1.16163
300	0.990306596	1.16417
350	0.826392034	0.94511
500	0.628156364	0.66135



metri	globale	estivo
0	0	0
10	0.084805825	0.12631
50	0.457597396	0.7803
100	0.371155642	0.71612
150	0.23945164	0.52542
200	0.369743785	0.748
250	0.390942084	0.78858

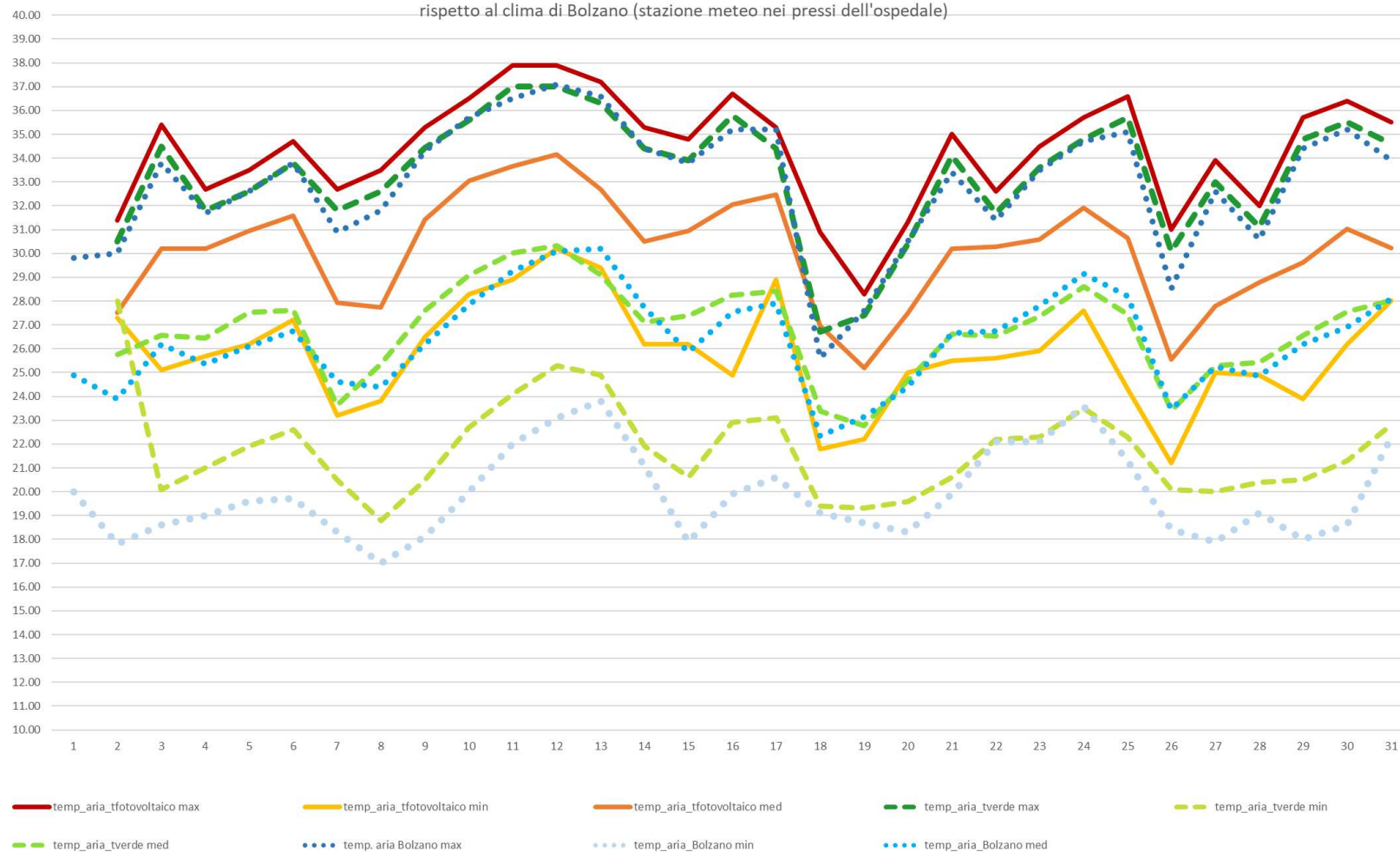
<
>
10 metri
t test tra tetto verde e buffer
t test tra le differenze di LST
+
⋮
◀

# Fiera di Bolzano: differenze tra tetto verde e i suoi buffers

Stagionalità e prima e dopo implementazione tetti verdi (2021)

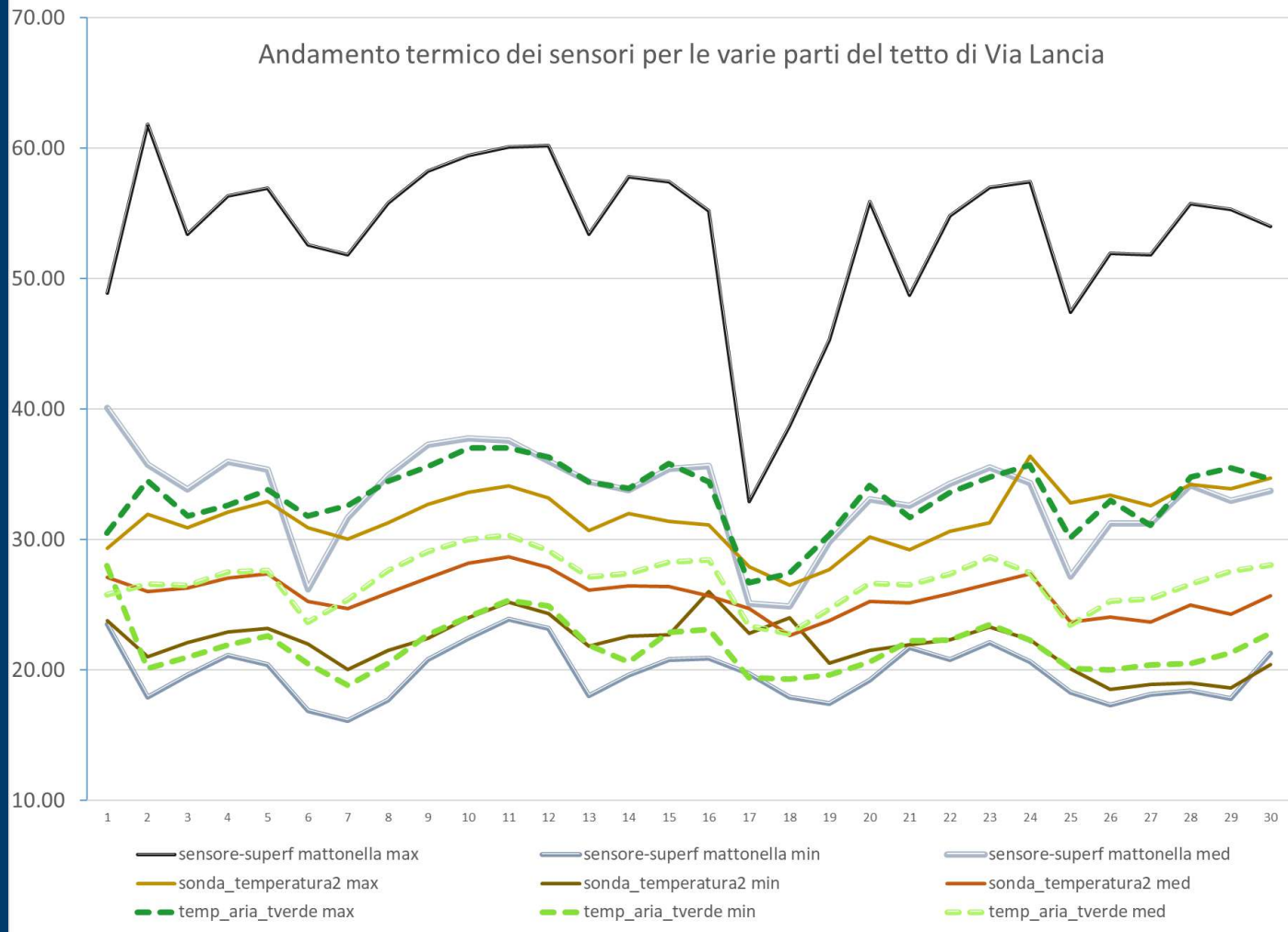


Microclima tetto fotovoltaico e tetto verde ad alta biodiversità di Via lancia rispetto al clima di Bolzano (stazione meteo nei pressi dell'ospedale)



# Temperatura dell'aria per i tre settori del tetto di Via Lancia in agosto 2024

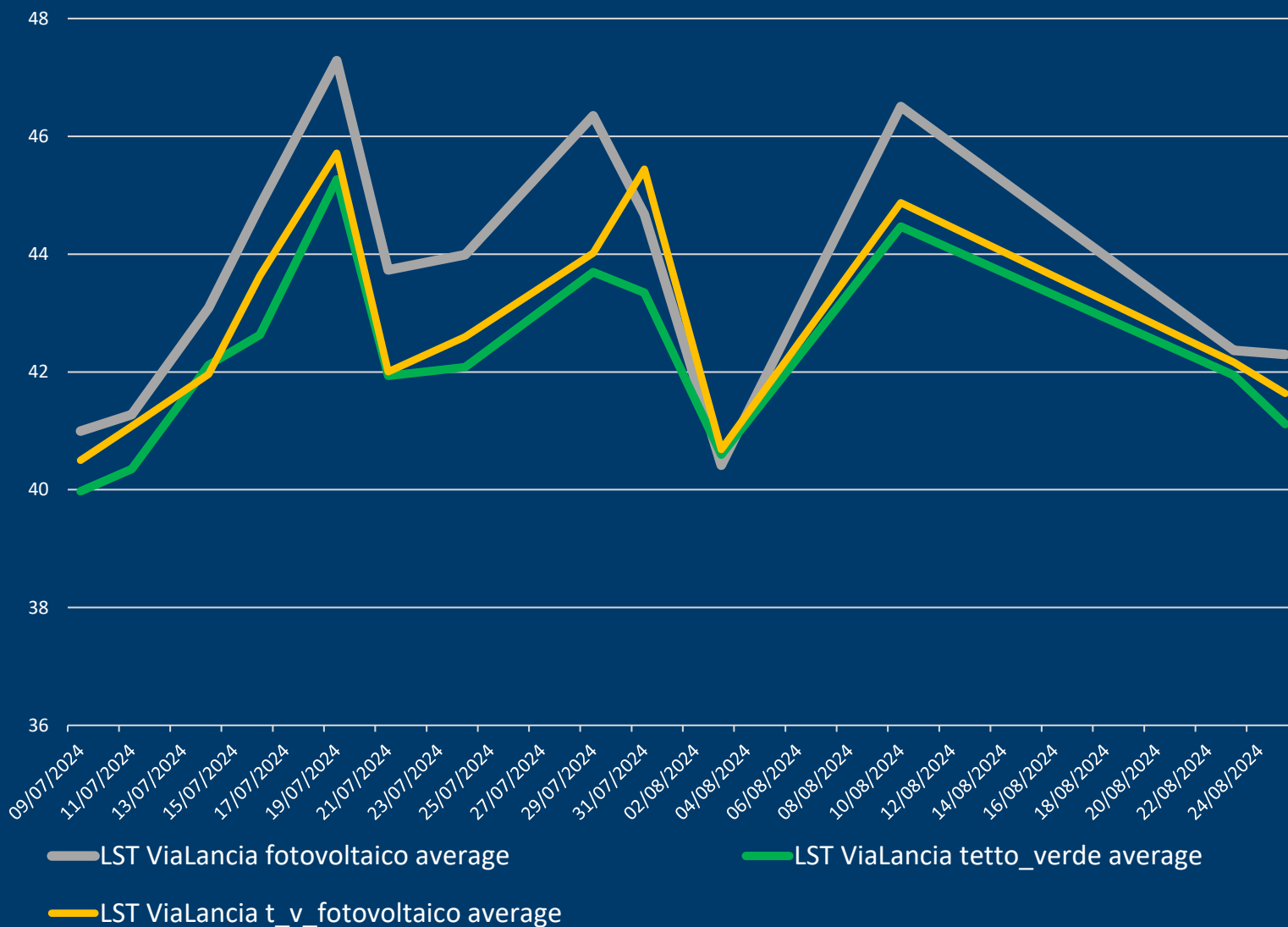
*Med max e min per tutti i sensori*

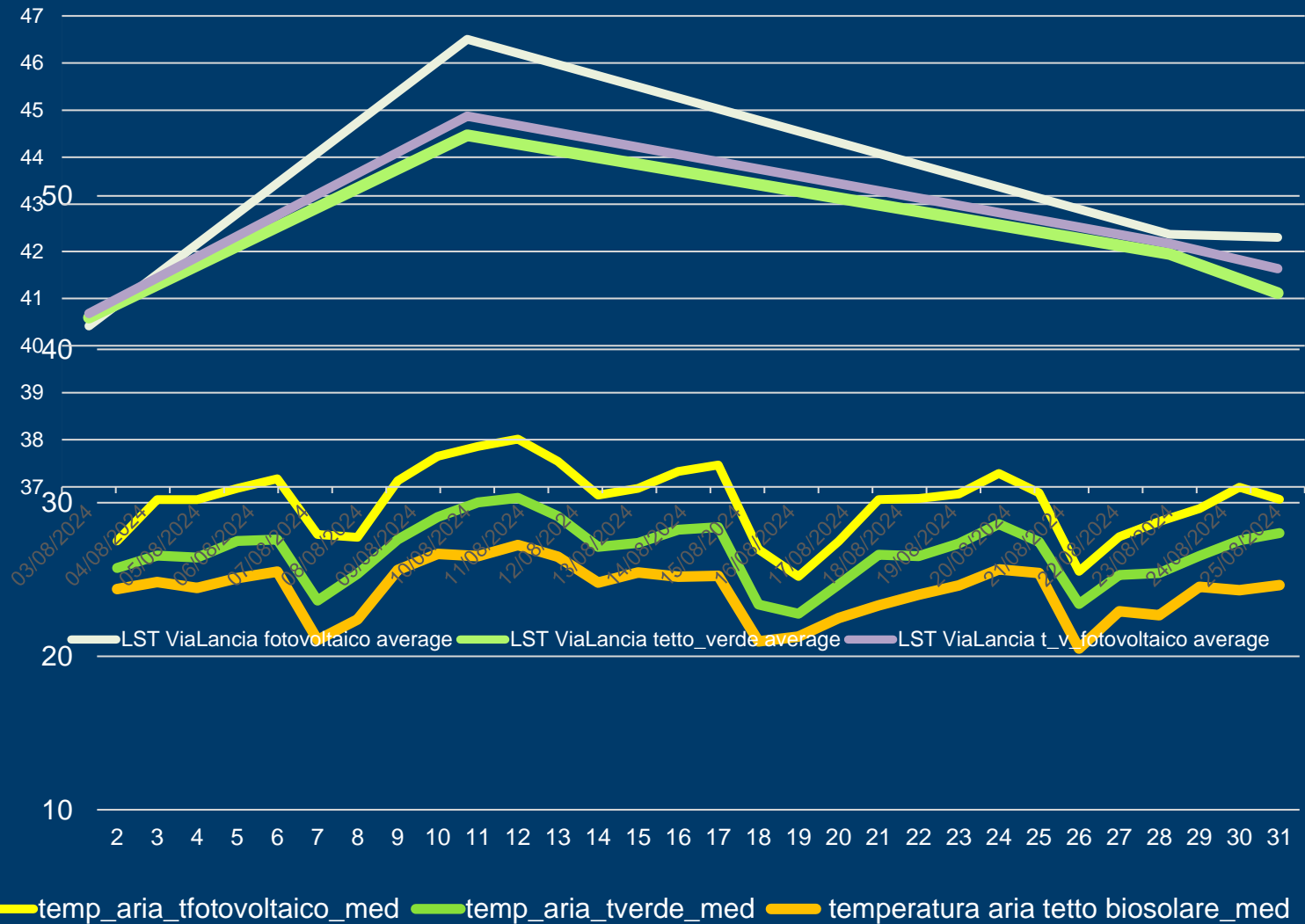


## Microclima tetto via Lancia in agosto 2024

Settore tetto fotovoltaico-tetto verde, tutti i sensori: emerge l'elevata temperatura registrata sulla superficie tradizionale del tetto fotovoltaico, oltre alla temperatura dell'aria in prossimità del tetto fotovoltaico

Valori medi LST per i tre settori tetto via Lancia





**Andamento delle Temperature per il tetto dell'edificio di Via Lancia nel mese di agosto**  
 Temperatura dell'aria valori medi da stazioni meteo vs LST valori medi da satellite per i tre settori del tetto



# Tetto Fiera di Bolzano

Confronti tra valori orari giornalieri delle sonde di temperatura con i valori di LST

45

## Valori medi *LST* tetto verde e ghiaia della Fiera

### Valori *microclima* tetto verde e lato ghiaia del tetto della fiera di Bolzano

40.00  
35.00  
30.00  
25.00  
20.00  
15.00  
10.00

40

35

fiera tetto verde

LST

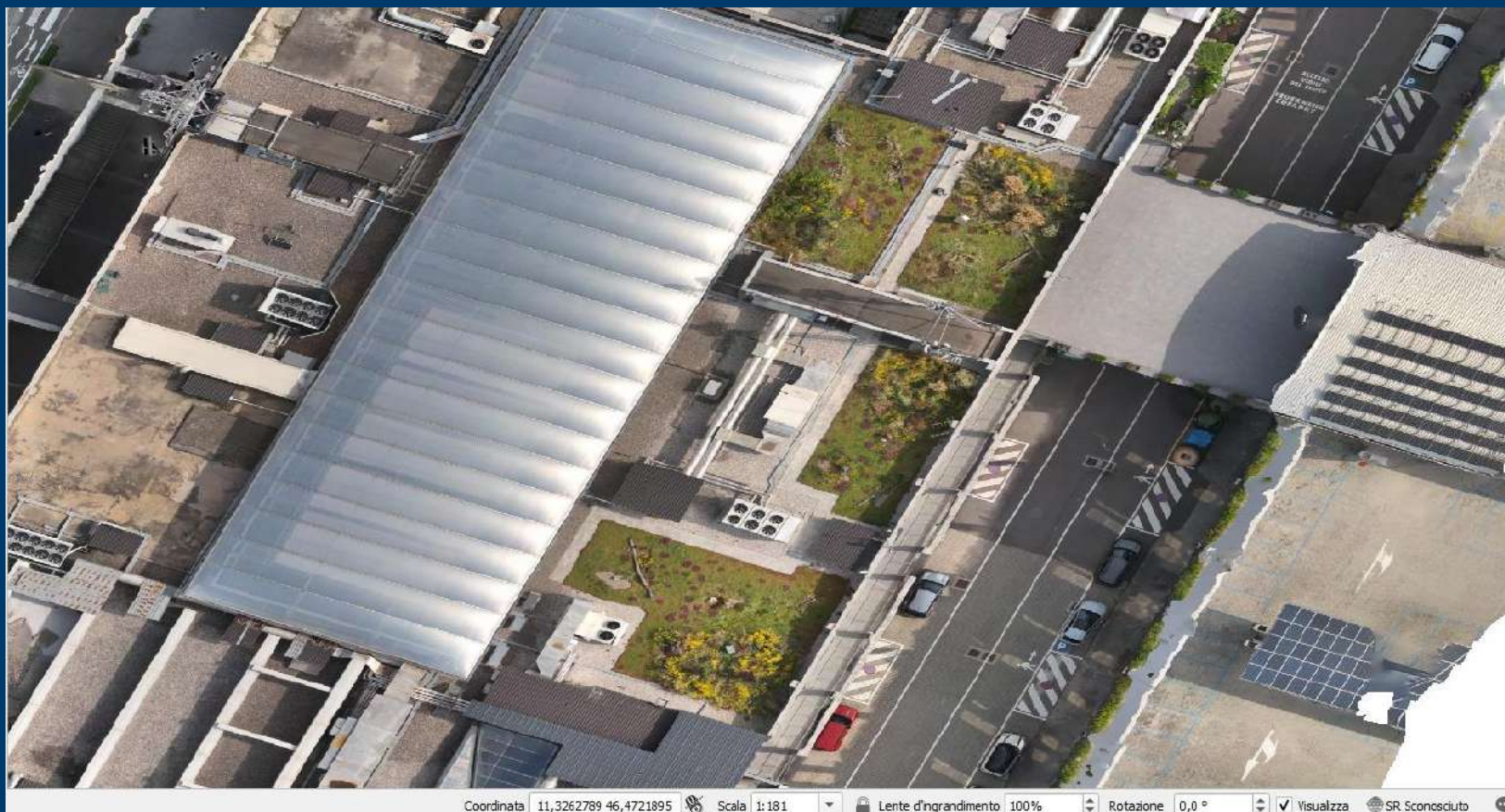
fiera parte ghiaia

LST

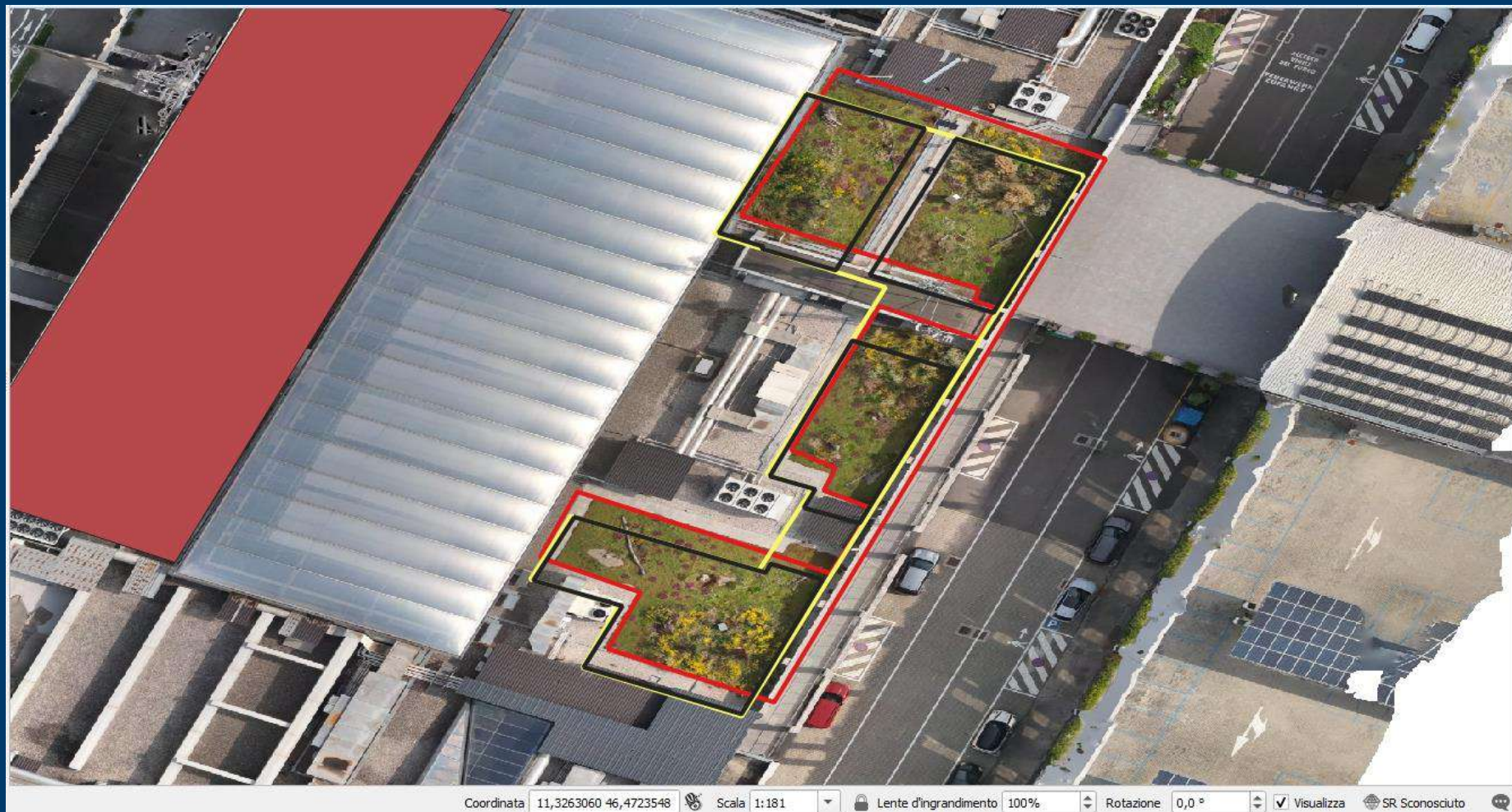
01/07/2024 23:56:59  
02/07/2024  
03/07/2024  
04/07/2024  
05/07/2024  
06/07/2024  
07/07/2024  
08/07/2024  
09/07/2024  
10/07/2024  
11/07/2024  
12/07/2024  
13/07/2024  
14/07/2024  
15/07/2024  
16/07/2024  
17/07/2024  
18/07/2024  
19/07/2024  
20/07/2024  
21/07/2024  
22/07/2024  
23/07/2024  
24/07/2024  
25/07/2024  
26/07/2024  
27/07/2024  
28/07/2024  
29/07/2024  
30/07/2024  
31/07/2024  
2024 7 lug  
2024 8 ago

- air\_temp\_avg\_ghiaia
- sonda\_infilzo\_avg\_ghiaia
- sonda\_superficie\_avg\_tverde
- sondore-superficiale\_avg\_ghiaia
- air\_temp\_avg\_tverde
- sonda\_infilzo\_avg\_tverde



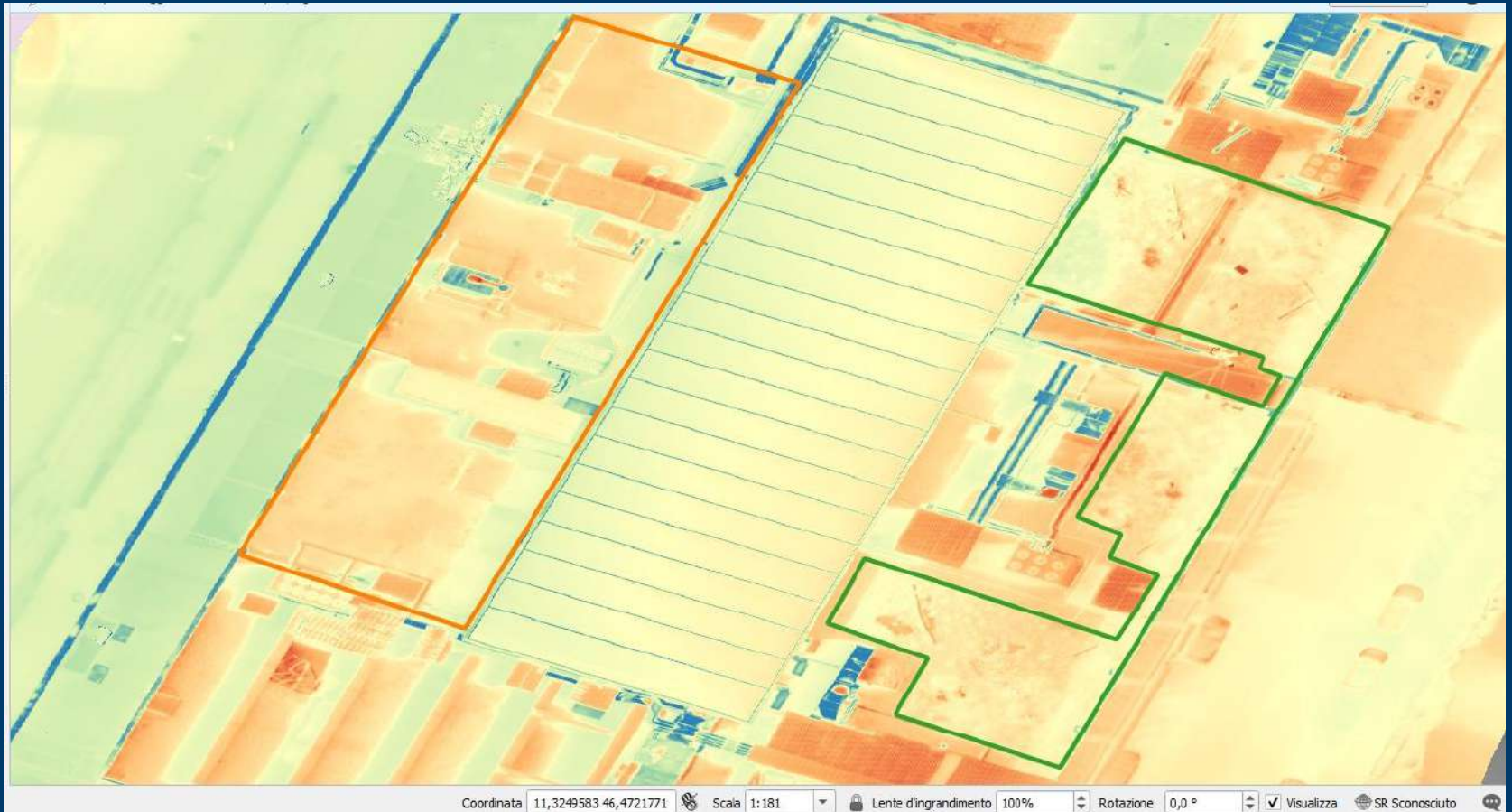


## Fotopiano in *RGB* del tetto della Fiera di Bolzano



## Fotopiano in *RGB* del tetto della Fiera di Bolzano

I diversi vettori utilizzati nel processing dei *rasters*



## Fotopiano termico in falsi colori del tetto della Fiera di Bolzano

I vettori utilizzati per estrapolare le varie parti per il calcolo della corrispondente  $LST$  da drone



## Fotopiano termico in falso colore del *NOI techpark*

Tetti verdi di *NOISTERIA* e ASILO NIDO



## Fotopiano termico del tetto dell'Edificio di Via Lancia in orario di passaggio satellitare



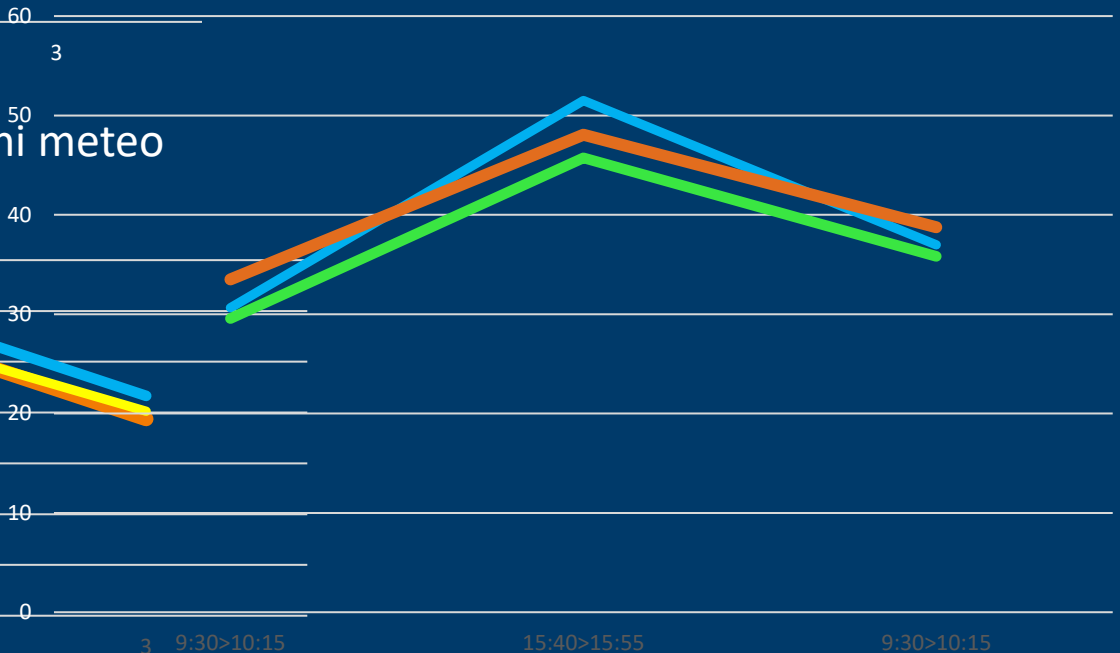
Fotopiano termico del tetto di Via Lancia nelle ore pomeridiane

## Bolzano temp aria med

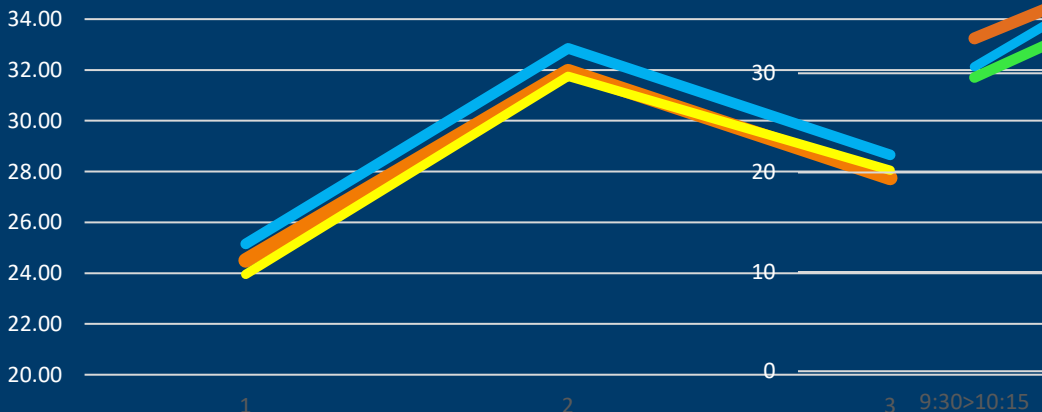


Confronto termico tra temperatura aria di Bolzano, temperatura da stazioni meteo e da drone per i 3 settori del tetto di via Lancia

## Valori medi LST da drone



## Andamento termico da stazioni meteo locali



T FOTOV T aria da staz

T VERDE T aria da staz

T BIOSOLARE T aria da staz

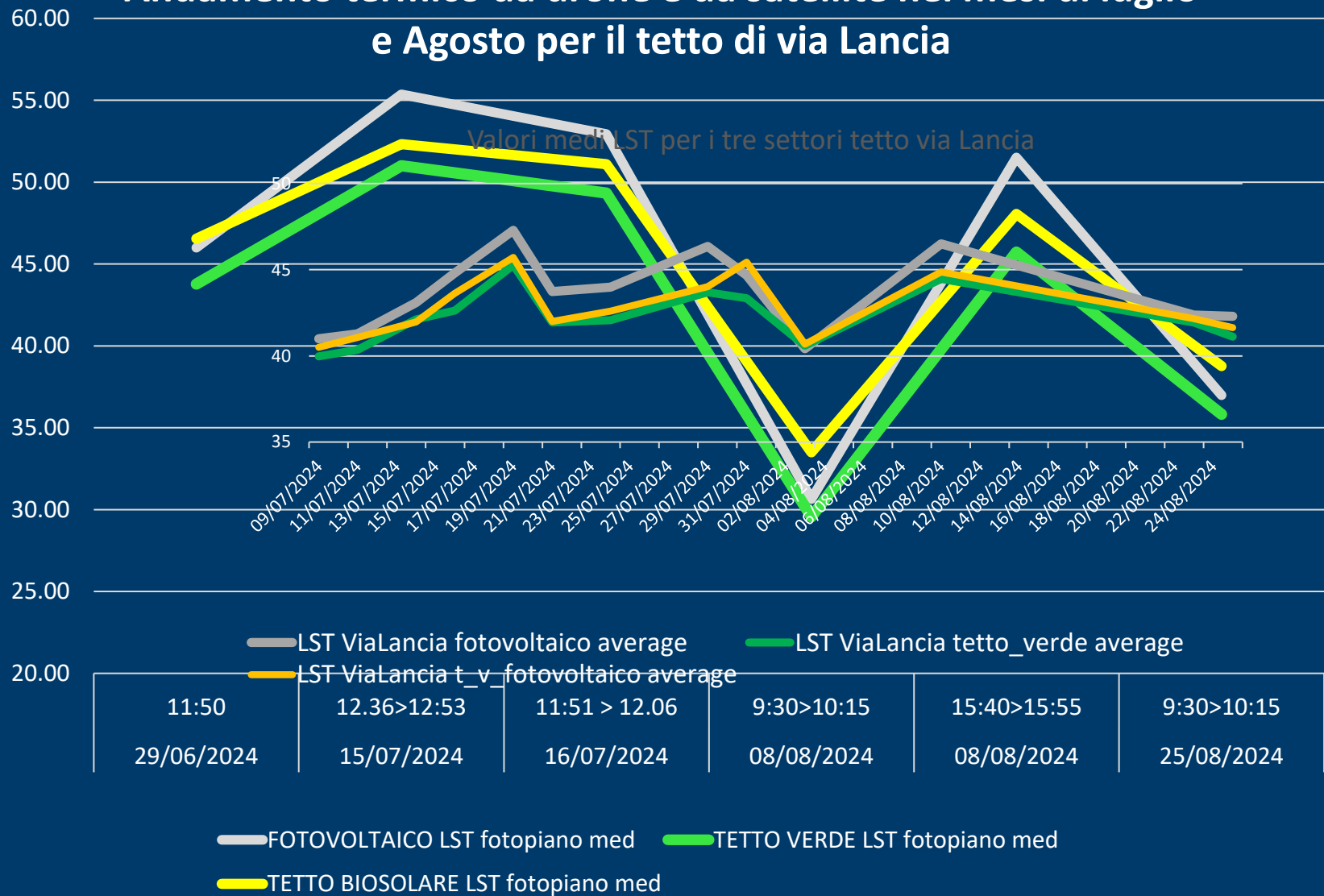
FOTOVOLTAICO LST fotopiano med

TETTO VERDE LST fotopiano med

TETTO BIOSOLARE LST fotopiano med



# Andamento termico da drone e da satellite nei mesi di luglio e Agosto per il tetto di via Lancia



stefania.pace@enea.it

vincenzo.delfatto@enea.it



```
1101 0110 1100  
0101 0010 1101  
0011 1100 1100  
1111 1010 0000
```

