



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Environmental efficiency assessment of green infrastructure through remote sensing & GIS techniques

Oratorio S. Filippo Neri, Bologna 22-23 settembre 2022

Stefania Pace, Vincenzo Del Fatto, ENEA Portici Dip. Efficienza Energetica

Roberto Loperfido, Comune di Bolzano Servizio SIT

Ulrike Buratti, Elena Crescini, Comune di Bolzano Servizio Giadineria



Tetti verdi: aspetti introduttivi della tecnologia

Coperture a verde: generalità

Il **DM 26/06/2015**, Decreto interministeriale 26 giugno 2015 - Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici, **impone una obbligatoria attenzione agli aspetti "estivi"**, sia al fine di contenere il surriscaldamento interno degli ambienti sia per limitare la domanda energetica da parte degli impianti di climatizzazione.

Oltre alle misure inerenti la **massa termica** e la **trasmissione termica periodica**, ai **sistemi di schermatura**, alle **vetrate a controllo solare**, alla **ventilazione**, il DM 26/06/2015 fa esplicito riferimento anche a soluzioni quali i **TETTI VERDI**.



Tetti verdi: aspetti introduttivi della tecnologia



Già nella legislazione precedente, il DPR 59/2009 definiva le **Coperture a verde**: "Si intendono le coperture continue dotate di un sistema che utilizza specie vegetali in grado di adattarsi e svilupparsi nelle condizioni ambientali caratteristiche della copertura di un edificio. Tali coperture sono realizzate tramite un sistema strutturale che prevede in particolare **uno strato colturale opportuno sul quale radificano associazioni di specie vegetali**, con minimi interventi di manutenzione, **coperture a verde estensivo**, o con interventi di manutenzione media e alta, **coperture a verde intensivo**".

Tale tecnologia bioclimatica di copertura, in rapida diffusione soprattutto nell'Europa centrale e settentrionale, sta iniziando ad essere applicata di frequente anche nelle nostre condizioni climatiche. Nelle prossime slides, saranno brevemente illustrate le principali caratteristiche tecniche ed energetiche.

Tetti verdi: aspetti introduttivi della tecnologia

Potenzialità tecnica e naturale

Benefici ambientali dei tetti verdi

miglior rendimento dei
pannelli fotovoltaici

riduzione
inquinamento atmosferico

natura e
biodiversità

benefici sociali ed
economici



mitigazione microclima

riduzione
inquinamento
sonoro

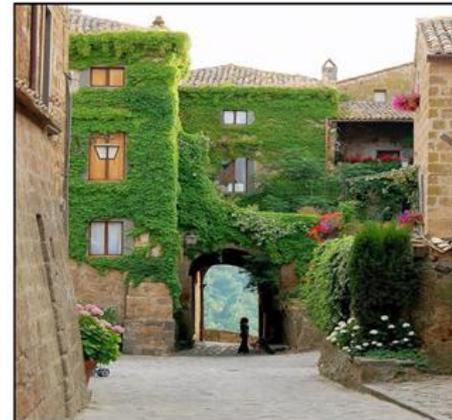
riduzione
deflusso acque

risparmio energetico

Tetti verdi: aspetti introduttivi della tecnologia

Coperture a verde: descrizione e funzionamento

Al contrario delle **pareti verdi**, solitamente realizzate mediante crescita, più o meno spontanea, di rampicanti sulle pareti verticali di un edificio, i **TETTI VERDI** richiedono un'attenta e consapevole progettazione.



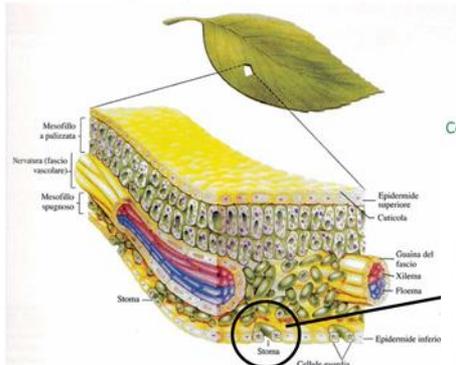
Oltre alle differenze “tecnologiche”, **PARETI e TETTI VERDI** si distinguono per il principio di funzionamento:

1. Le **pareti verdi** offrono un buon comportamento in regime estivo, soprattutto a causa della **maggiore riflessione** della radiazione solare.
2. I **tetti verdi**, sfruttano, invece, soprattutto **massa inerziale ed evapo-traspirazione**.

Tetti verdi: aspetti introduttivi della tecnologia

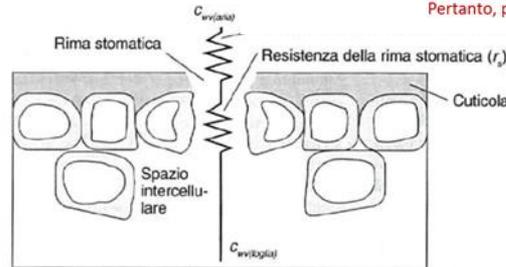
Coperture a verde: approfondimento sull'evapo-traspirazione

Evapotraspirazione e Stomi



Coperture a verde: approfondimento su

Resistenza all'evapotr



Coperture a verde: approfondimento sull'evapo-traspirazione

$$W_{traspirazione} = \frac{(C_{WATER(FOGLIA)} - C_{WATER(ARIA)})}{r_s + r_b}$$

- $W_{traspirazione}$ = velocità di traspirazione delle foglie, espressa in $[\text{moli m}^{-2} \text{s}^{-1}]$
- $C_{WATER(FOGLIA)}$ = Concentrazione del vapore d'acqua nella foglia, espresso in $[\text{moli} / \text{m}^3]$
- $C_{WATER(ARIA)}$ = Concentrazione del vapore d'acqua nell'aria, espresso in $[\text{moli} / \text{m}^3]$
- Somma delle resistenze dello strato-limite (r_b) e della rima stomatica (r_s), espresso in $[\text{s/m}]$

La resistenza, al passaggio del vapore d'acqua, dello strato limite (r_b) è proporzionale al suo spessore.

La resistenza stomatica (r_s) è regolata dall'apertura e chiusura degli stomi.

Un tetto verde funziona quando vi è elevata evapo-traspirazione, che innesca un evaporative cooling della copertura. Pertanto, piante grasse e poca irrigazione non determinano ottimali prestazioni.



Edificio prototipo monitorato in continuo, ENEA Casaccia



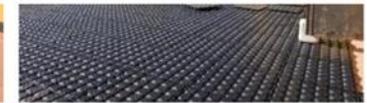
(A)



(B)



(C)



(C)



(D)



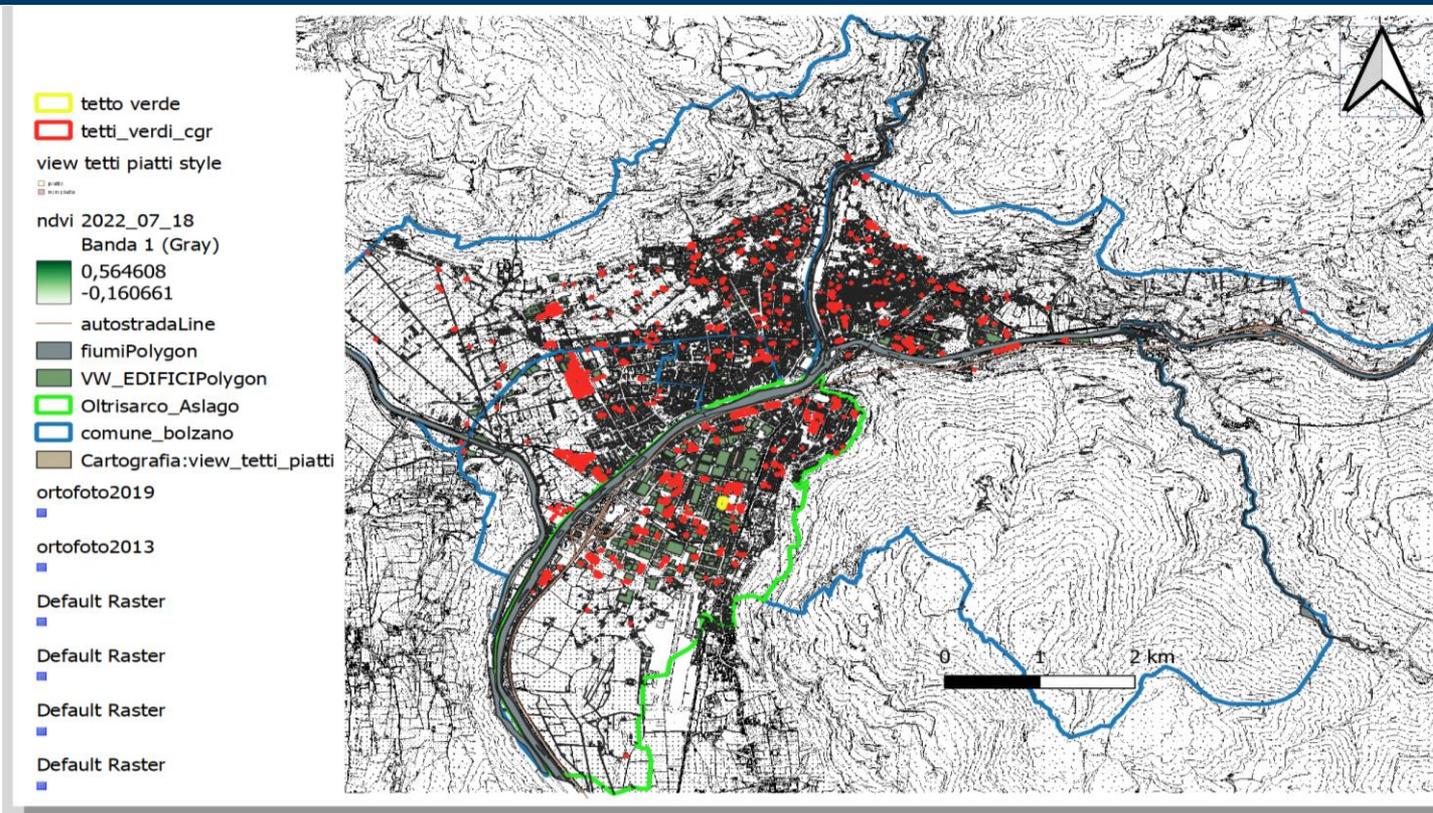
(E)



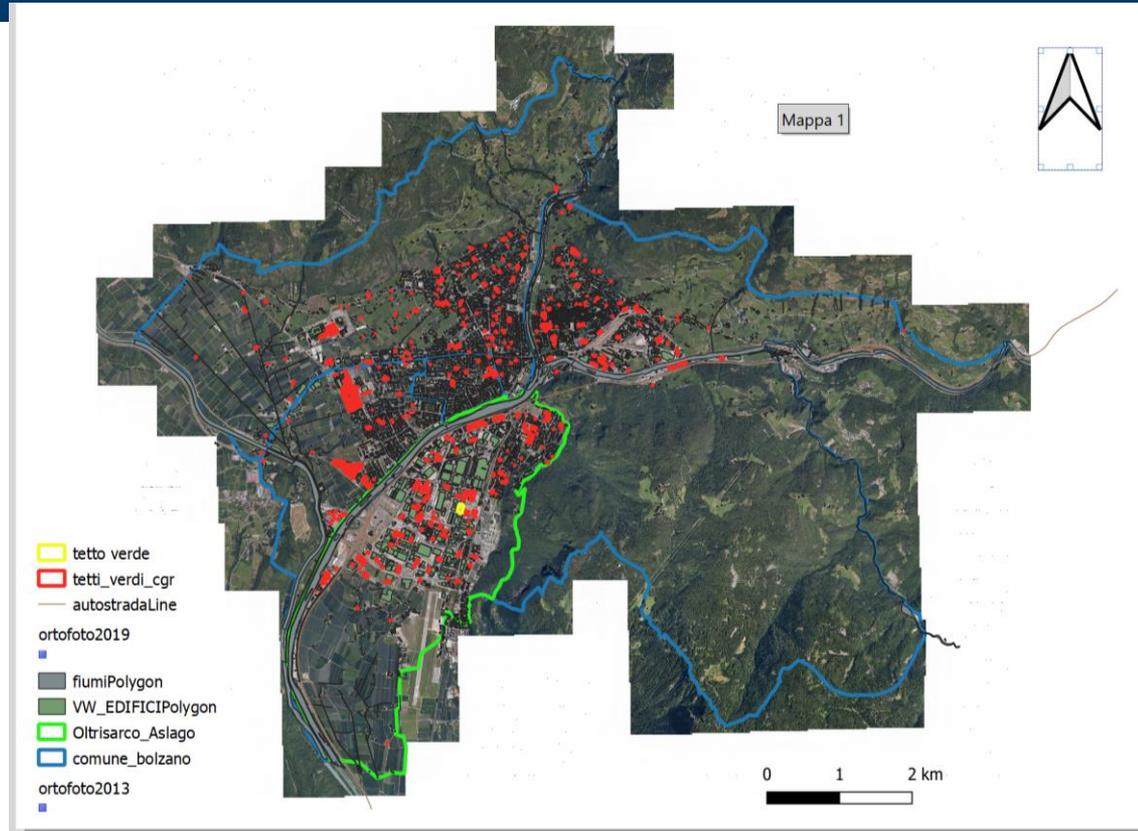
(F)

Ricerca di Sistema elettrico
Infrastrutture «verdi» per migliorare l'efficienza energetica degli edifici e
la qualità del microclima nelle aree urbane

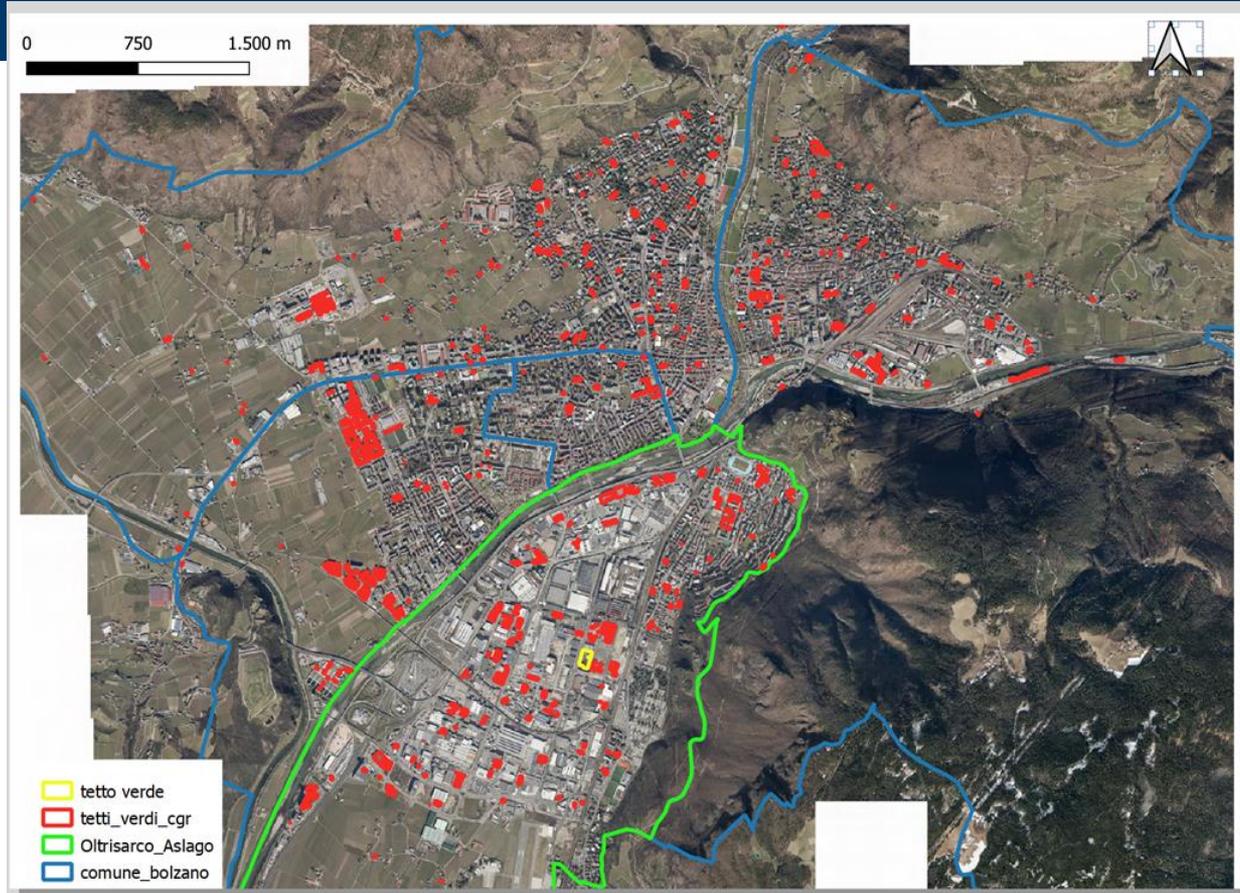
Strati informativi di base Comune di Bolzano



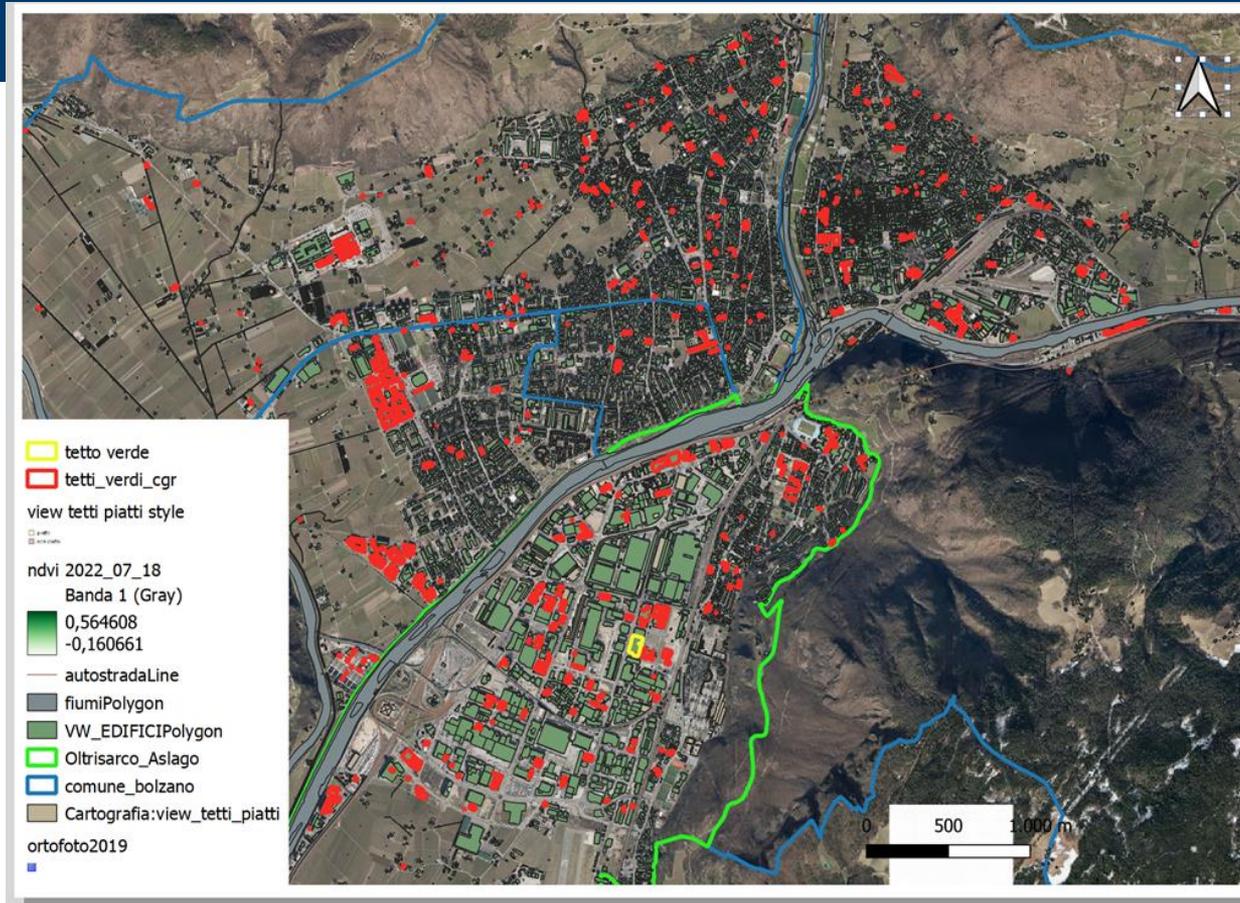
Strati informativi di base Comune di Bolzano



Strati informativi di base Comune di Bolzano



Strati informativi di base Comune di Bolzano





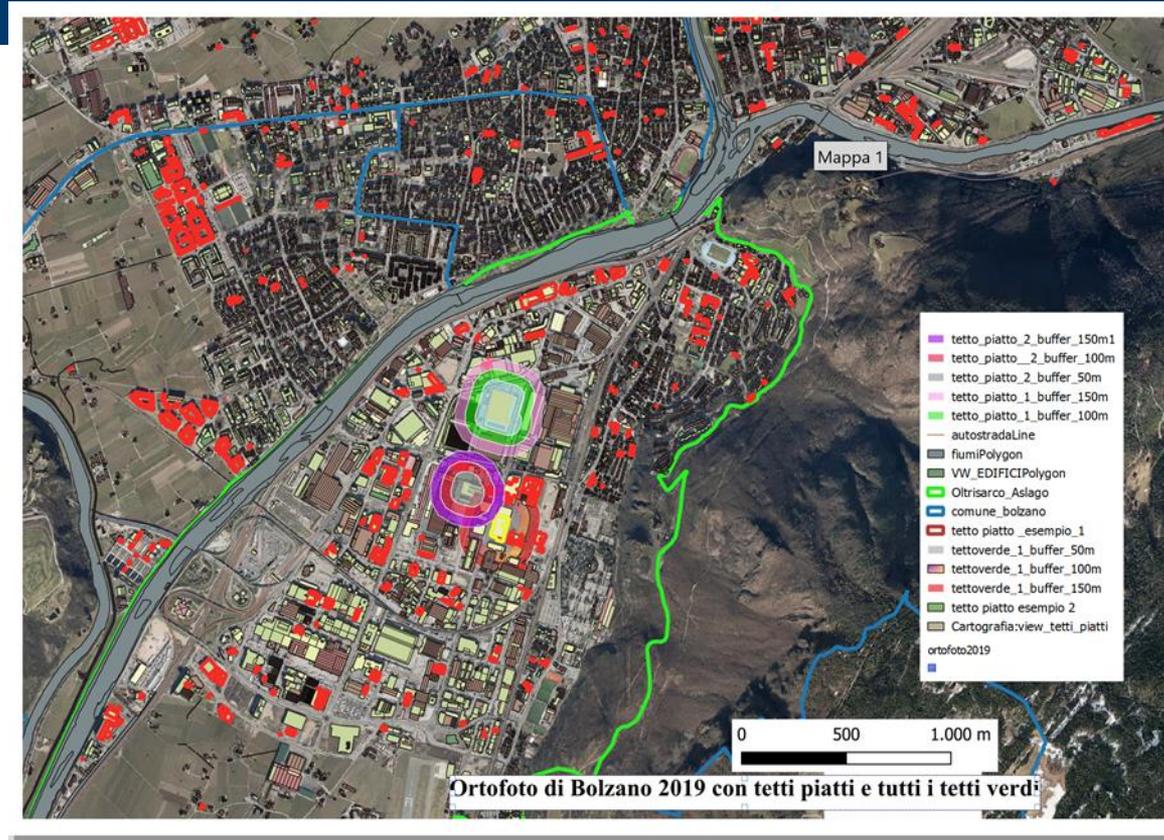


Tetti verdi Comune di Bolzano: Scuola professionale di Bolzano

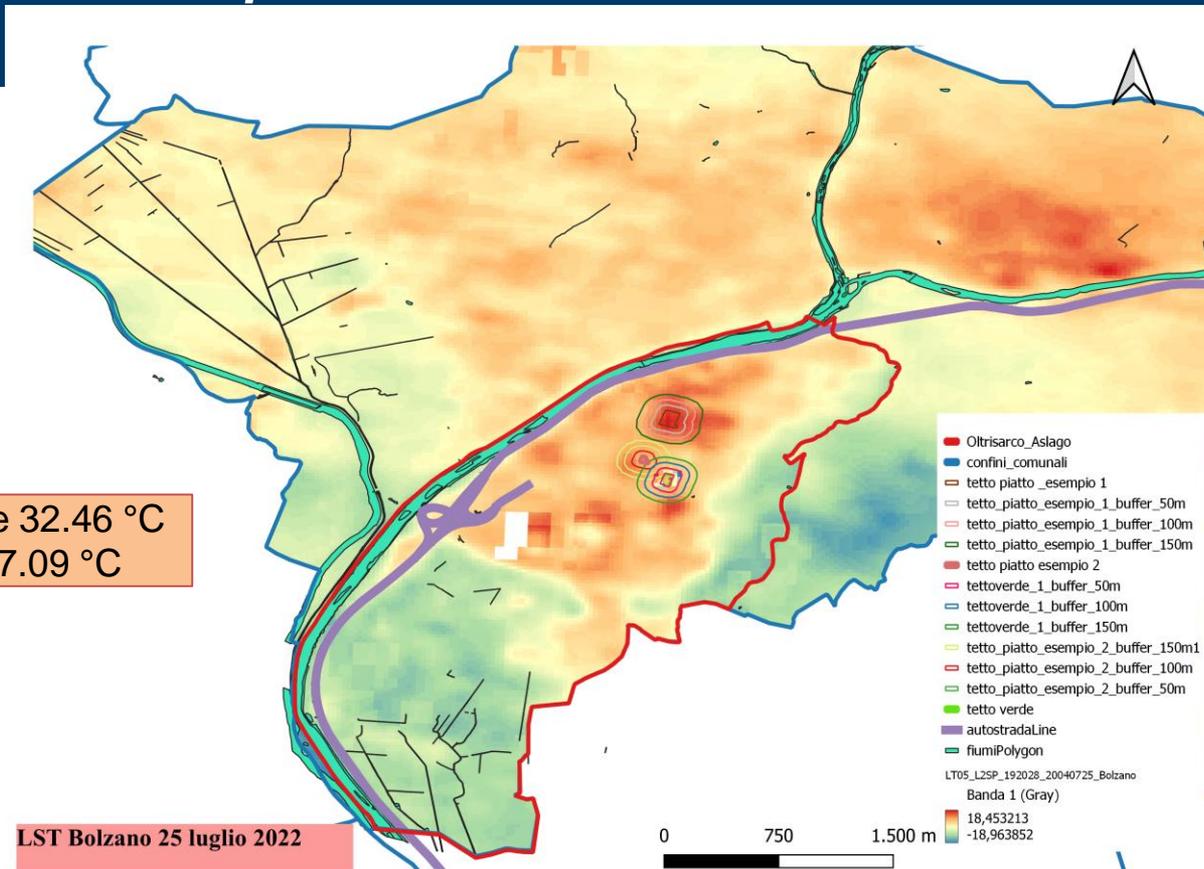




Comune di Bolzano: dettaglio layers tetti verdi e tetti piatti Bolzano sud



Land surface temperature Comune di Bolzano

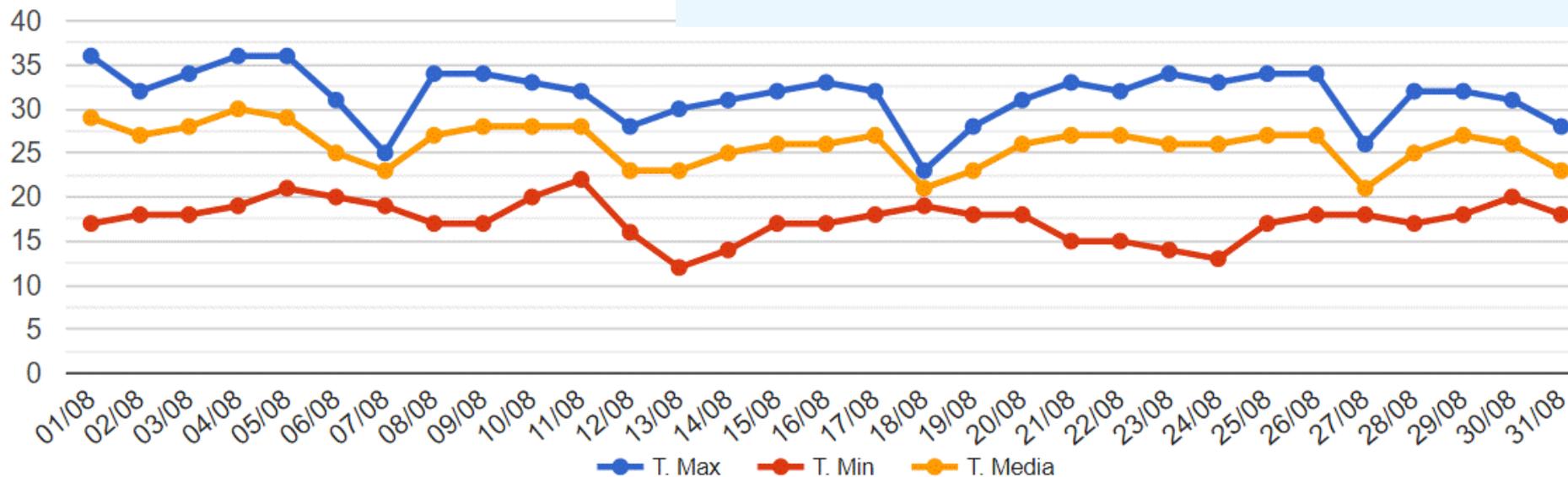


LST comunale 32.46 °C
LST BZ sud 37.09 °C

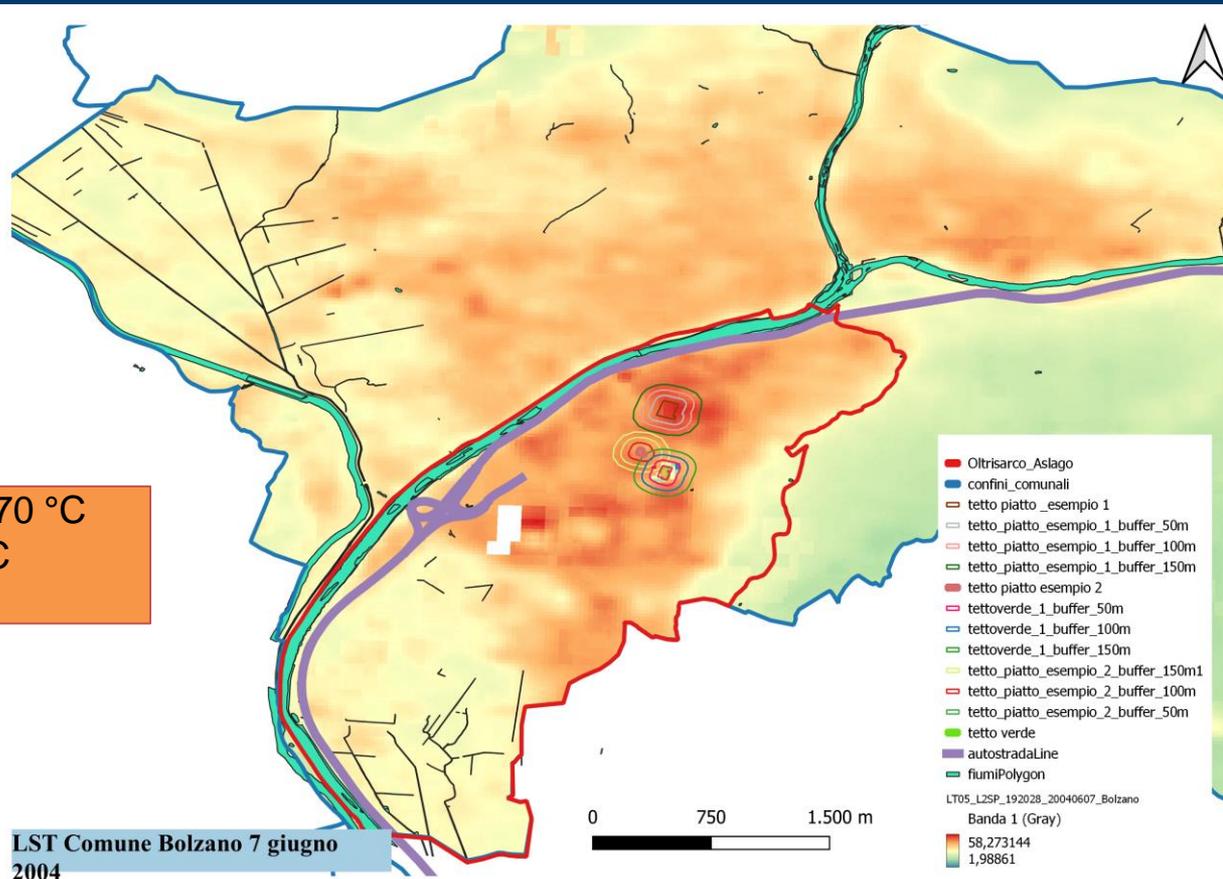
TEMPERATURA MASSIMA, MINIMA E MEDIA (°C)

Riepilogo dei dati mensili per agosto 2022:

● Temperatura massima:	36 °C	● Temperatura minima:	12 °C
● Temperatura Media:	26 °C	● Precipitazioni:	-- mm
● Velocità media del vento:	7.5 km/h	● Raffiche massime di vento:	61.1 km/h

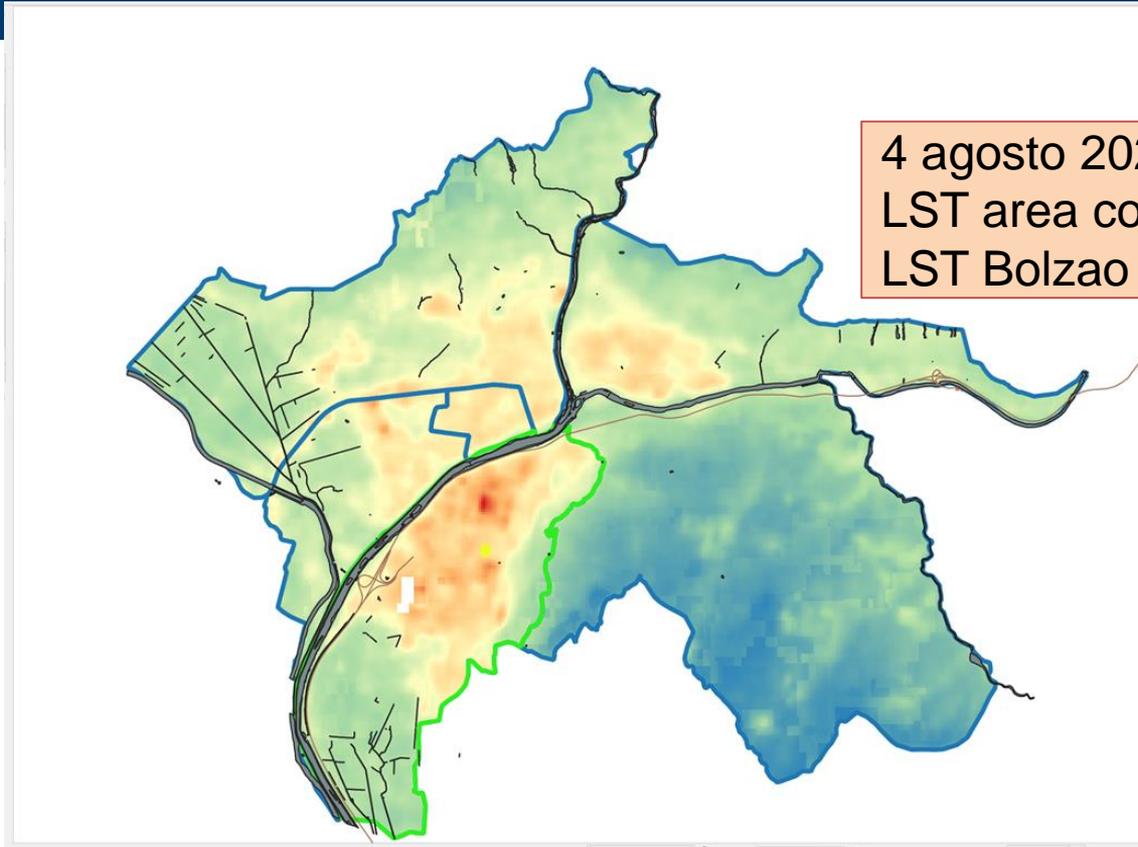


LST Comune di Bolzano



LST comune BZ 30,70 °C
LST BZ sud 37.11 °C

Land surface temperature Comune di Bolzano

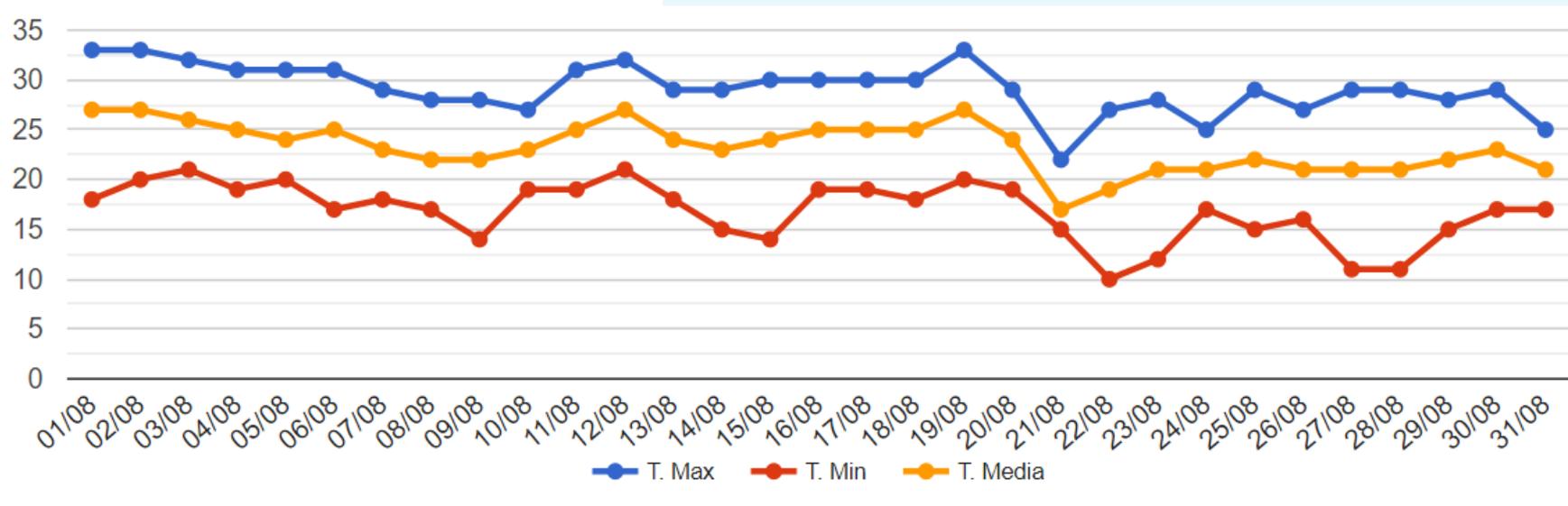


4 agosto 2022
LST area comunale 35.54 °C
LST Bolzao sud 40.47 °C

Riepilogo dei dati mensili per agosto 2004:

● Temperatura massima:	33 °C	● Temperatura minima:	10 °C
● Temperatura Media:	23 °C	● Precipitazioni:	52 mm
● Velocità media del vento:	7.6 km/h	● Raffiche massime di vento:	61.1 km/h

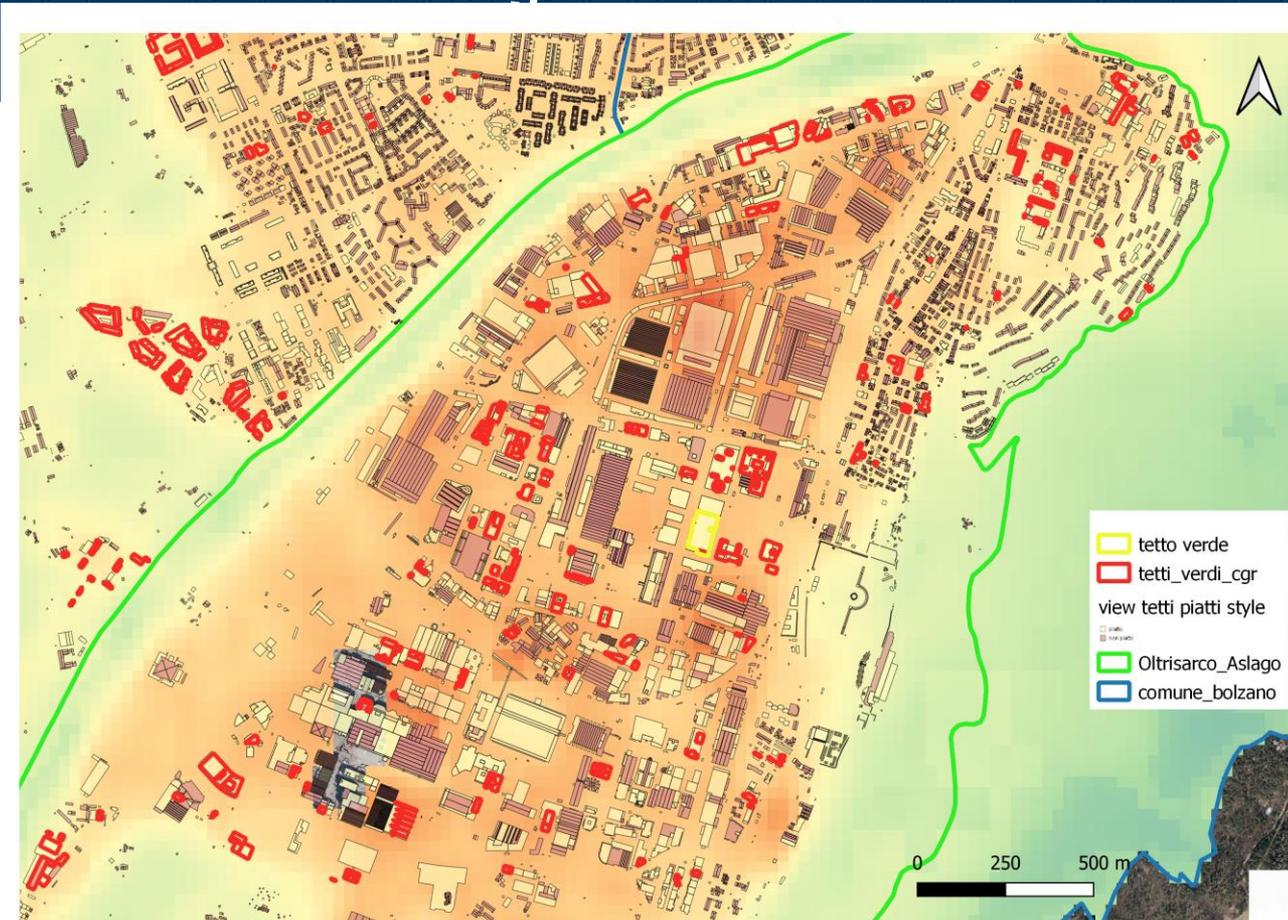
TEMPERATURA MASSIMA, MINIMA E MEDIA (°C)



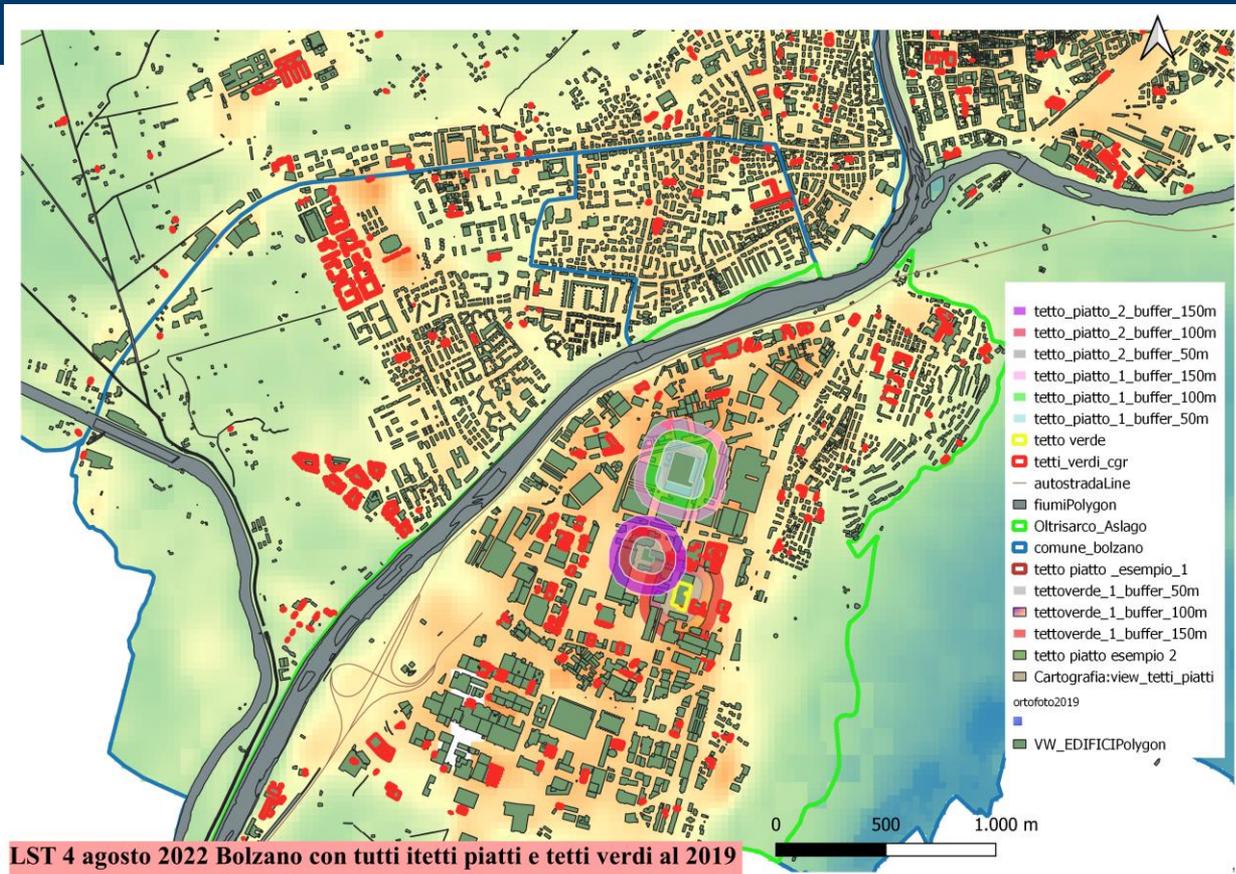
Comune di Bolzano: dettaglio struttura urbana Bolzano sud



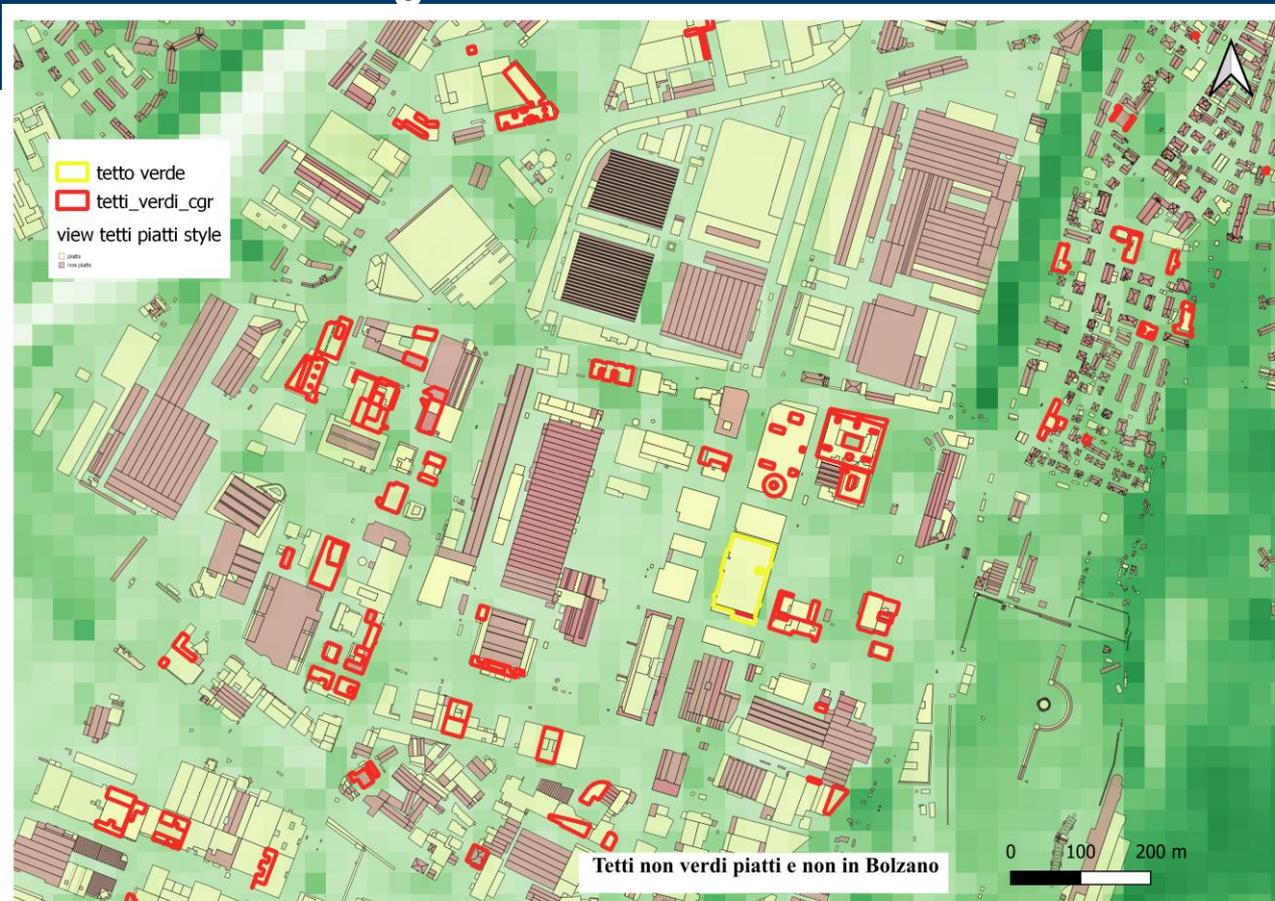
Comune di Bolzano: dettaglio struttura urbana Bolzano sud



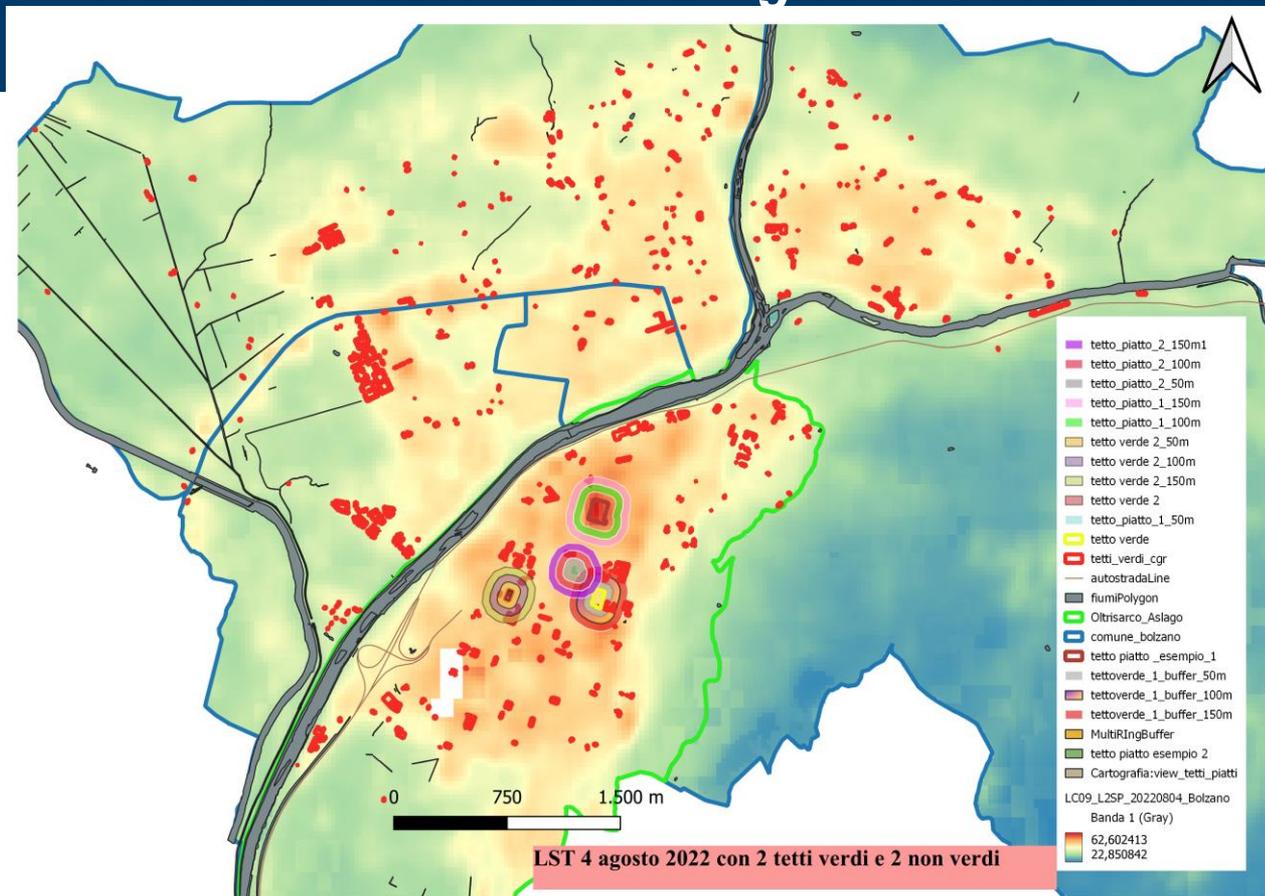
Comune di Bolzano: dettaglio struttura urbana Bolzano sud con tetti *target*



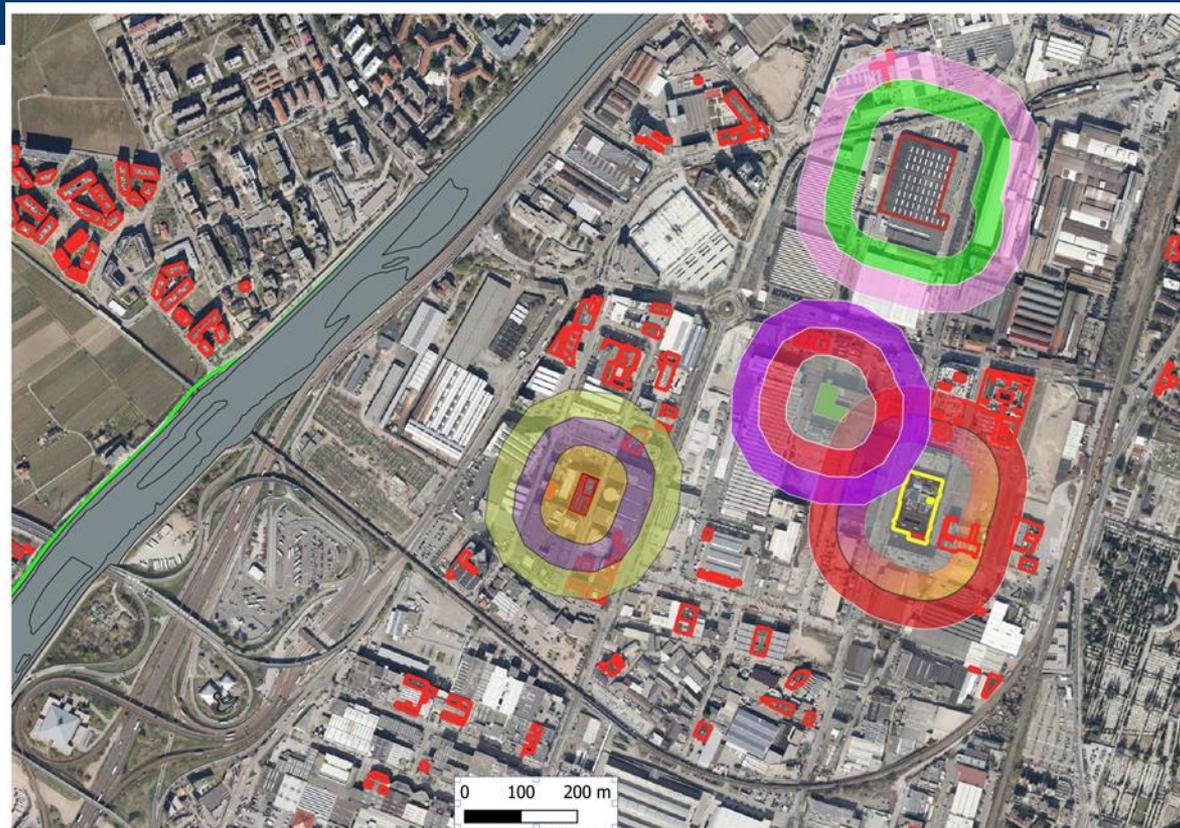
Comune di Bolzano: dettaglio struttura urbana Bolzano sud su layer NDVI



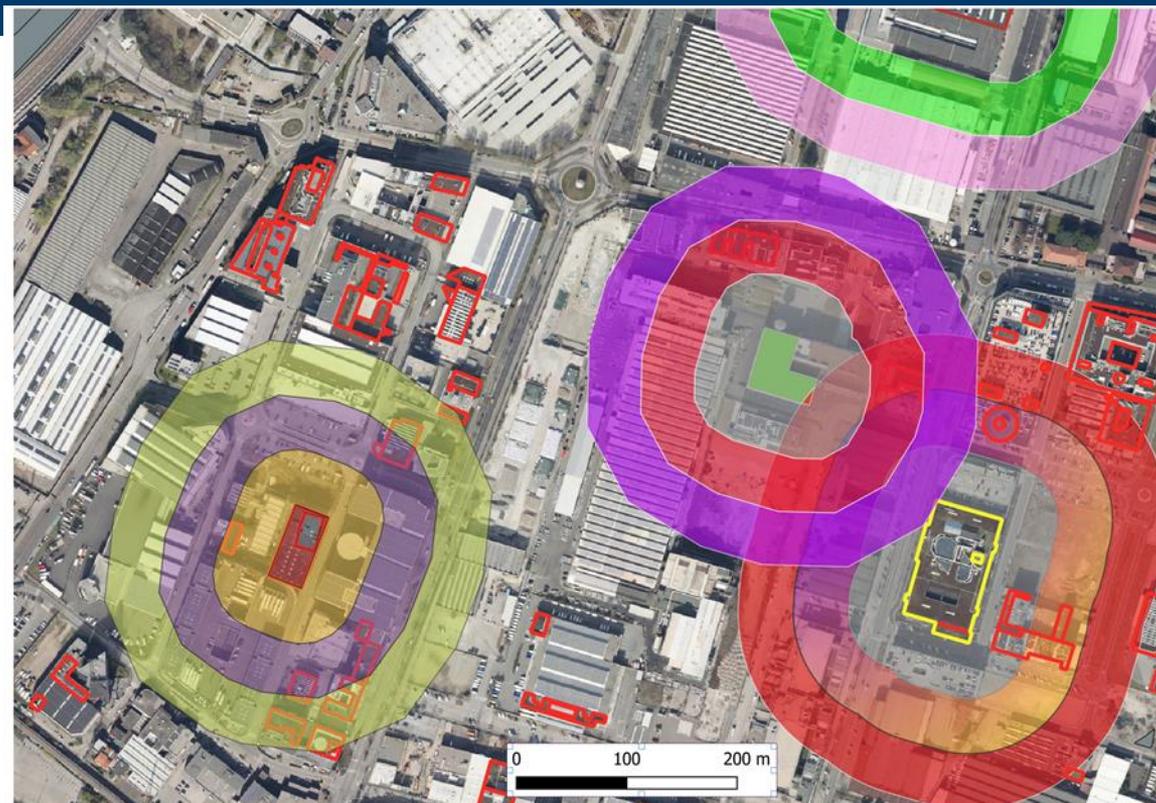
LST Bolzano con tetti verdi e tetti *target* e relative *buffer zones*



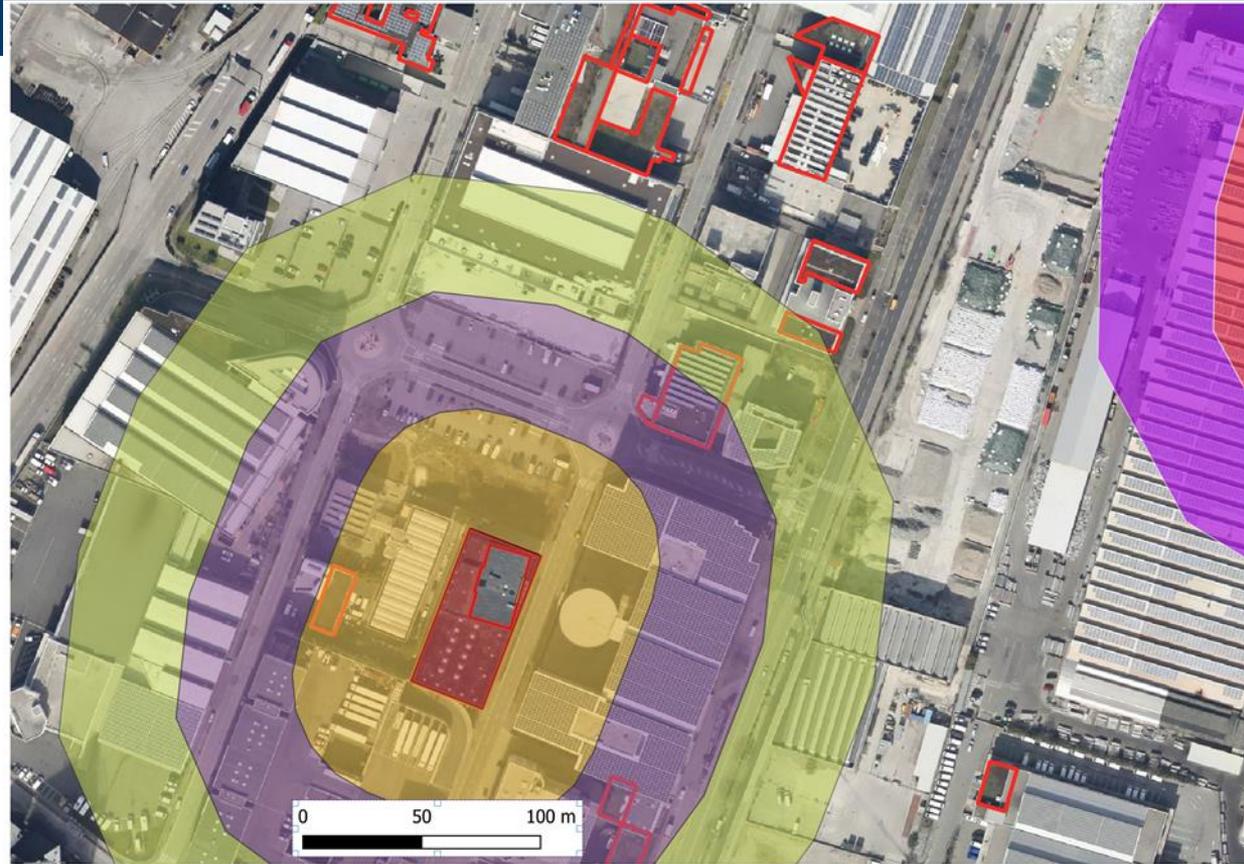
Ortofoto 2019: dettaglio *layers* tetti verdi e tetti piatti Bolzano sud



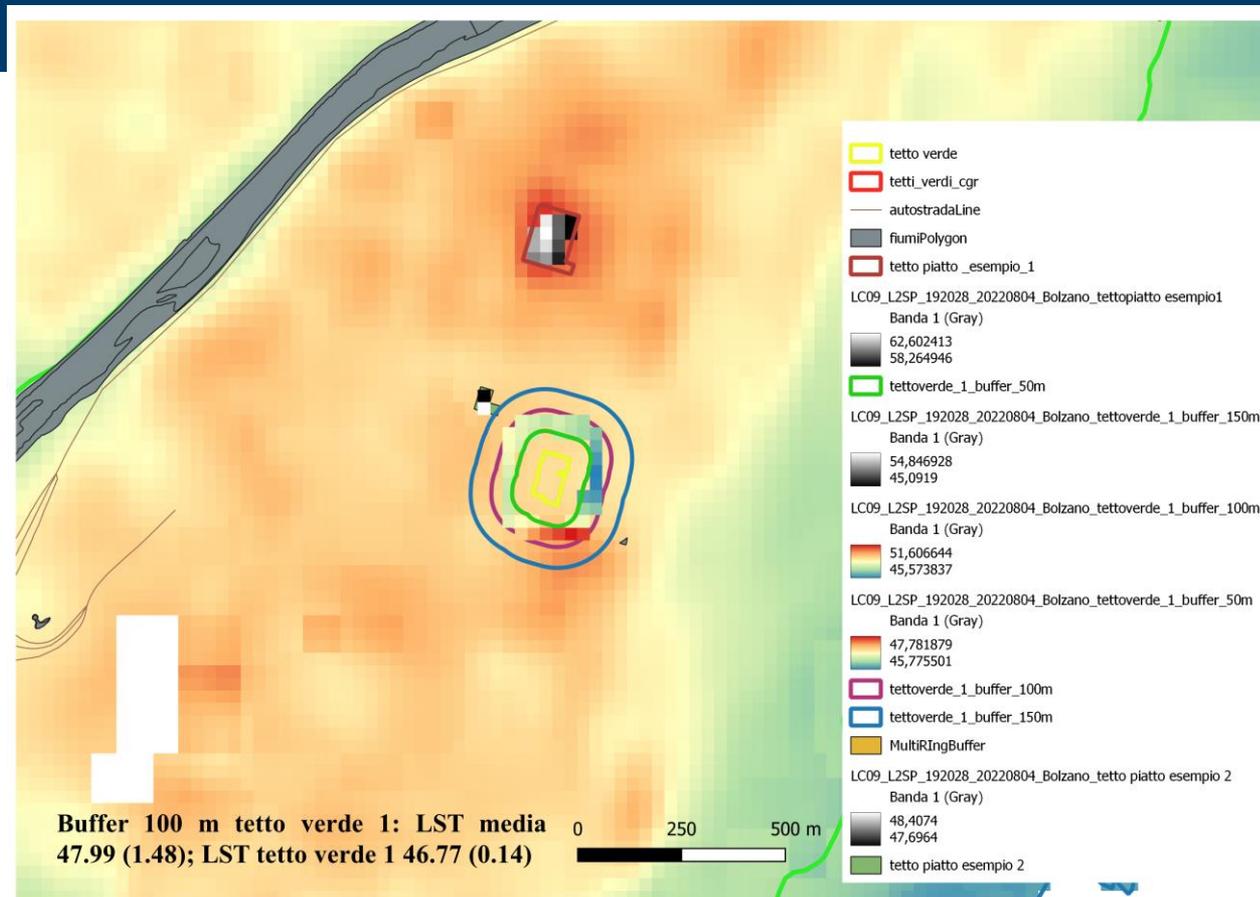
dettaglio buffers dei *layers* tetti verdi e tetti piatti Bolzano sud



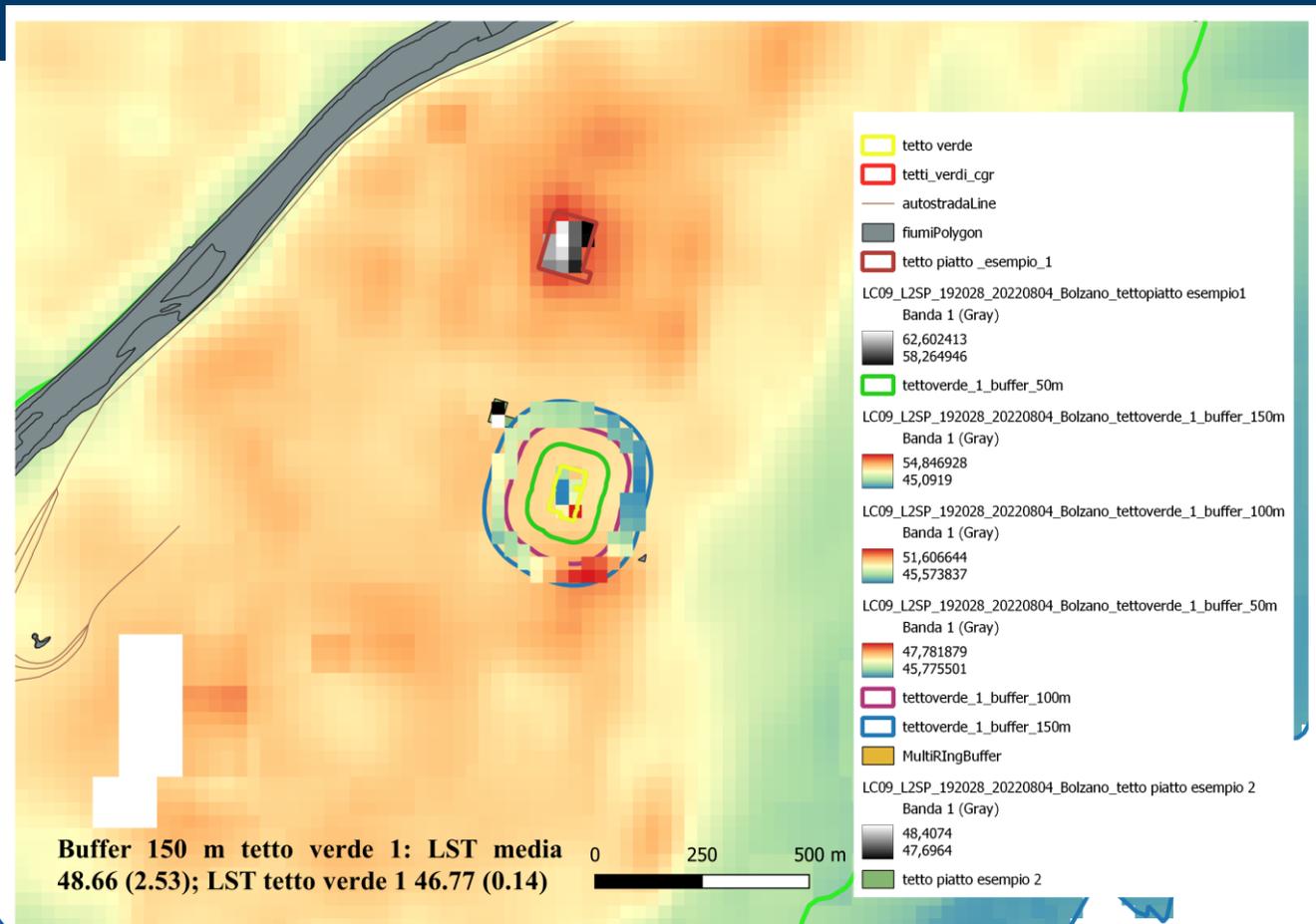
dettaglio *buffers* dei *layers* tetti verdi e tetti piatti Bolzano sud



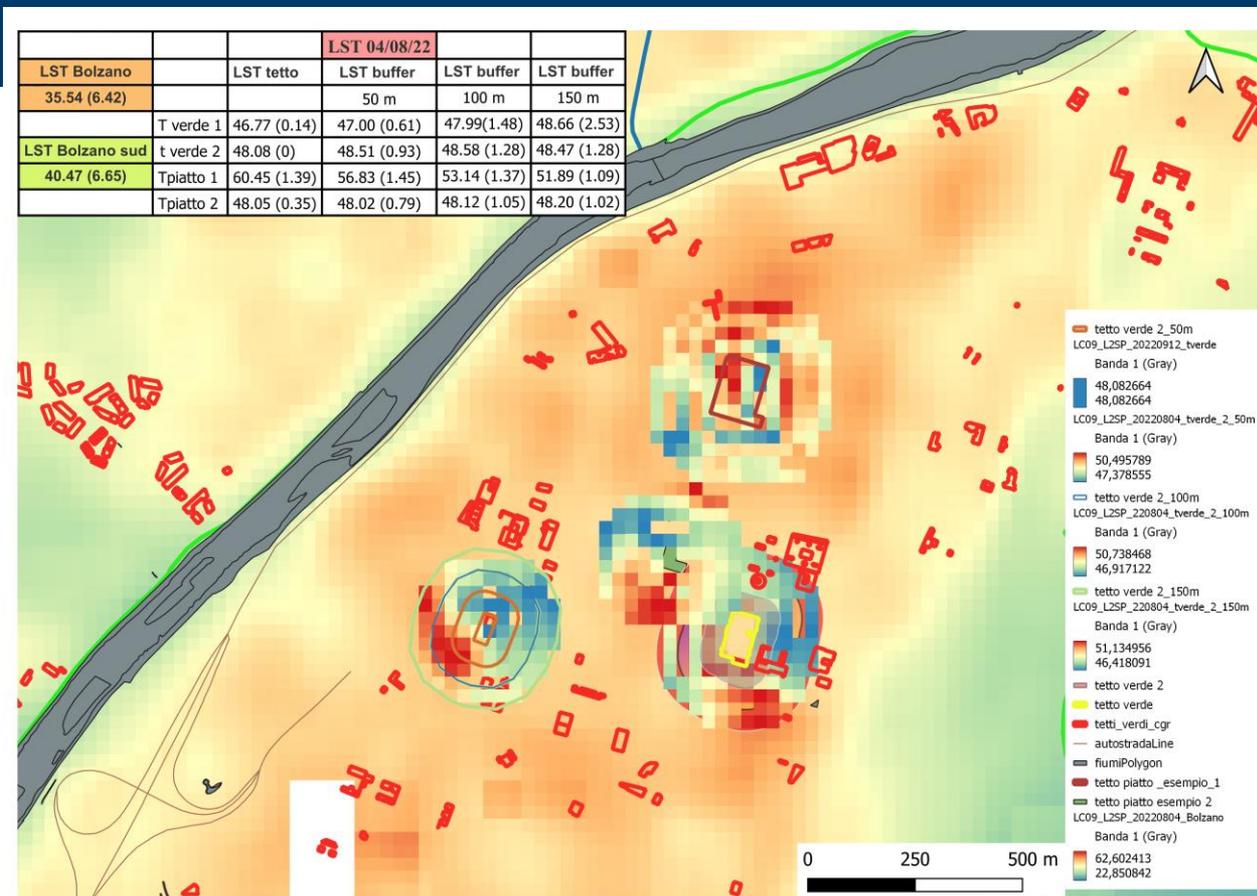
LST tetto verde 1 e zona *buffer* a 100m, Bolzano sud



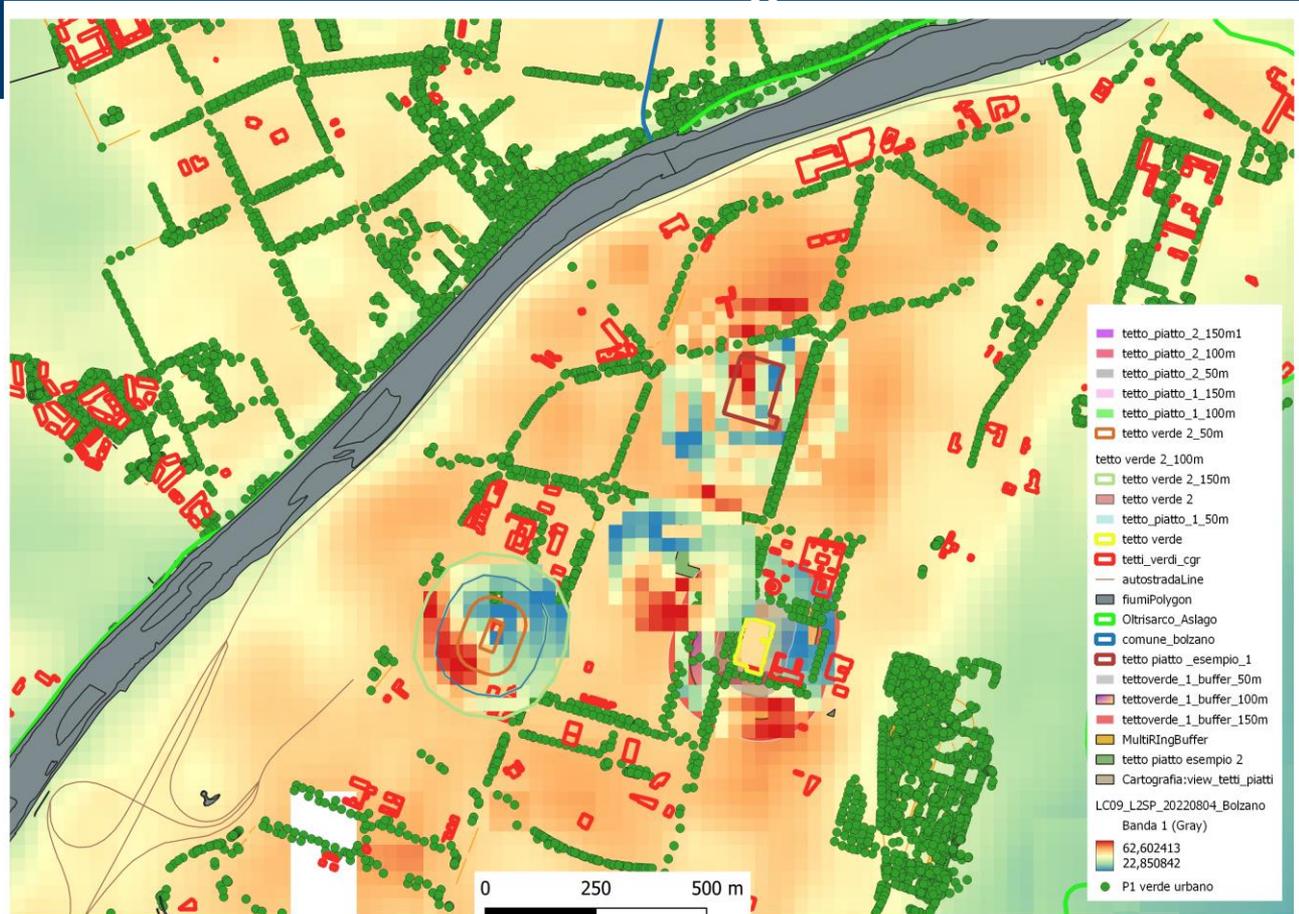
LST tetto verde 1 e zona *buffer* a 150m, Bolzano sud



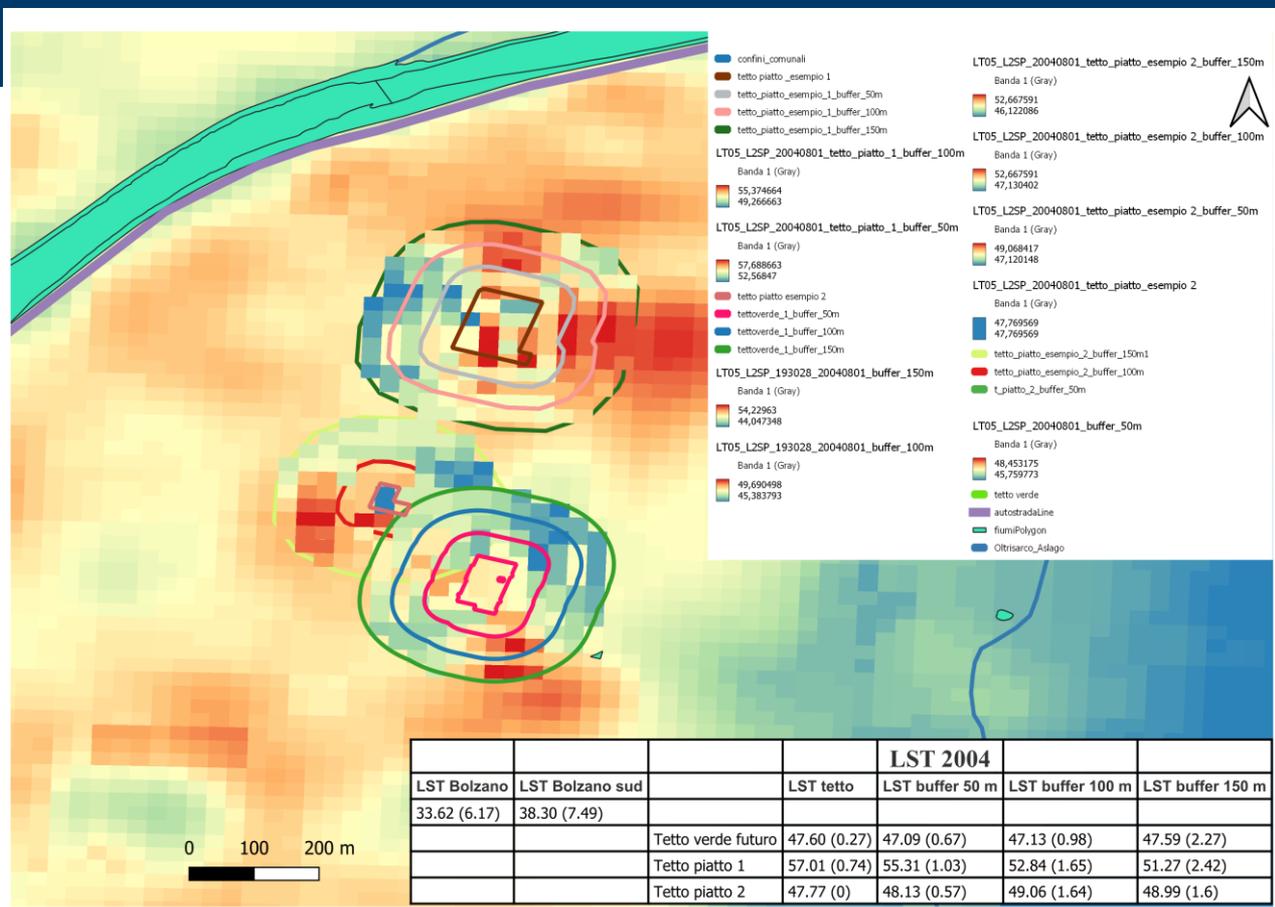
LST media BZ, BZ sud, tetto verde e tetti non verdi 2022



Dettaglio del verde urbano vs tetti *target* e *buffer* zone



LST media BZ, BZ sud, tetto verde e tetti non verdi 2004



Statistiche sulle LST medie e differenze relative

2004									2022										
data	LST	LST	LST	LST	LST	LST	media	diff. vs	data	LST	LST	LST	LST	media	diff.	LST	LST	media	diff. vs
	Bolzano	BZ sud	futuro	futuro	t p_1	t p_2	tetti	BZ sud		Bolzano	BZ sud	t v_1	t v_2	t v	Bz sud	t p_1	t p_2	t p	BZ sud
			t v_1	t v_2															
29/5	25.6	30.34	36.23	36.89	44.96	36.89	38.74	8.4	15/5	31.98	37.23	44.74	46.67	45.70	8.47	56.93	43.94	50.43	13.2
	6.22	6.08	0.47	0	1.05	0	4.15			7.67	5.96	0.24	0	1.36		1.46	0.15		
7/6	30.7	37.11	44.26	45.71	54.81	45.7	47.62	10.51	16/5	31.6	37.29	43.92	44.23	44.07	6.78	54.53	43.14	48.83	11.54
	7.99	7.47	0.28	0.56	1.07	0.56	4.84			6.79	6.55	0.17	0	0.219		1.29	0.11		
30/6	30.34	35.6	43.57	44.76	56.27	44.76	47.34	11.74	1/6	19.57	31.21	36.85	36.5	36.67	5.47	46.05	36.5	41.27	10.06
	6.76	7.76	0.38	0	1.97	0	5.98			10.96	5.19	0.16	0	0.25		1.38	0.07		
9/7	24.22	29.17	33.41	35.79	45.54	35.78	37.63	8.46	25/6	32.46	37.09	44.25	44.10	44.17	7.08	55.48	43.76	49.62	12.53
	5.63	5.34	0.30	0	1.21	0	5.39			6.34	6.4	0.15	0	0.1		1	0.24		
25/7	0.02	(-)3.2	5.59	nd	nd	nd			2/7	35.94	41.05	49.9	48.84	49.37	8.32	61.01	48.49	54.75	13.7
	5.67	(-)7.2	0.62							6.97	7.46	0.15	0	0.75		1.11	0.07		
1/8	33.62	38.30	47.60	47.77	57.01	47.76	50.03	12.00	3/7	39.92	45.12	53.55	53.15	53.35	8.23	64.71	52.07	58.39	13.27
	6.17	7.49	0.27	0	0.74	0	4.65			6.05	7.62	0.19	0	0.4		1.3	0.14		
									11/7	36.78	42.48	50.34	49.84	50.09	7.61	61.97	48.91	55.44	12.96
										7.61	6.99	0.21	0	0.35		1.72	0.15		
									18/7	38.53	44.98	53.41	52.09	52.75	7.77	63.17	51.53	57.35	12.37
										7.22	7.35	0.12	0	0.93		1.8	0.06		
									19/7	38.8	42.85	49.98	49.51	49.74	6.89	58.39	48.51	53.45	10.6
										6.31	6.32	0.13	0	0.33		1.08	0.09		
									3/8	34.45	39.73	45.68	46.69	46.18	6.45	59.51	47.19	53.35	13.62
										6.51	6.76	0.32	0	0.71		0.71	0.13		
									4/8	35.54	40.47	46.77	48.08	47.42	7.69	60.45	48.05	54.25	13.78
										6.42	6.85	0.14	0	0.93		1.39	0.35		
									6/8	28.76	34.09	39.86	41.47	40.66	6.57	54.62	41.37	47.99	13.9
										6.48	6.59	0.44	0	1.14		0.71	0.09		
									11/8	32.51	37.41	43.27	43.32	43.29	5.88	52.76	42.87	47.81	10.4
										6.36	5.64	0.18	0	0.63		0.7	0.07		
									28/8	30.73	35.01	40.56	40.76	40.66	5.65	51.49	40.01	45.75	10.74
										5.8	5.50	0.27	0	0.14		1.39	0.09		
2/9	27.03	31.45	37.23	37.62	49.04	37.62	40.39	8.94	5/9	31.01	36.11	41.51	41.99	41.75	5.64	51.74	41.33	46.53	10.42
	5.40	5.59	0.31	1.46			5.78			6.32	5.53	0.2	0	0.34		1.24	0.11		
27/9	20.69	23.51	27.12	27.96	34.85	27.96	29.47	8.78	12/9	24.57	28.51	32.31	33.16	32.73	4.22	45.27	32.78	39.02	10.51
	4.96	4.09	0	1.52			4			5.5	5.14	0.33	0	0.6		1.51	0.29		

LST: land surface temperature °C tv: tetto verde tp: tetto piatto



Prospettive di analisi in corso

- tetti verdi contigui considerati come un unico tetto verde
- considerare (se e come) l'interazione tra *buffer* di diversi tetti verdi e i tetti verdi stessi, che potrebbero intersecarsi
- comparazione con temperature ambientali e medie stagionali (riscaldamento globale)
- automazione della procedura di *buffering* ed estrazione *LST* con *script python/QGIS* su tutti i poligoni dei tetti verdi sull'area totale di bolzano e su quartieri specifici

Stefania Pace,
Vincenzo Del Fatto,
Roberto Loperfido,
Ulrike Buratti,
Elena Crescini

Stefania.pace@enea.it
Vincenzo.delfatto@enea.it