

Fondazione Museo Civico di Rovereto

Attività di monitoraggio ambientale 2021

**Comprensiva delle analisi dei dati odorigeni
dell'ultimo quadrimestre 2021**

Rovereto, marzo 2022

A cura di
Fondazione Museo Civico di Rovereto

INDICE

1. PREMESSA	3
2. MONITORAGGIO AMBIENTALE	4
2.1 MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA: MOLESTIA ODORIGENA	4
STAZIONE AUTOMATICA DI RILEVAZIONE PEN3METEO (NASO ELETTRONICO)	4
RETE DEI CITTADINI SEGNALETTORI (NASI UMANI)	13
MANUTENZIONE, SOPRALLUOGHI E INDIVIDUAZIONE DI NUOVE SORGENTI ODORIGENE	20
2.2 MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA: INQUINANTI E POLVERI SOTTILI	21
RILEVAZIONE DELLE POLVERI SOTTILI	21
RILEVAZIONE DEI METALLI PESANTI	27
2.3 MONITORAGGIO DELLA PRIMA FALDA	36
2.4 MONITORAGGIO ENTOMOLOGICO DELLA ZANZARA TIGRE	38
2.5 MONITORAGGIO DELLA FLORA	39
2.6 MONITORAGGIO IPERSPETTRALE	40
3. CONCLUSIONI.....	52
RINGRAZIAMENTI	53
APPENDICE	54

1. Premessa

La presente relazione costituisce un compendio delle attività di monitoraggio ambientale svolte dalla Fondazione MCR nel corso del 2021 sul territorio comunale della città di Rovereto, frutto del lavoro delle diverse sezioni museali e dell'OpenLab che vi è trasversale.

Queste attività sono accomunate da una continuità temporale, seppur con diversa frequenza di raccolta del dato di interesse, e da un carattere di complementarietà, nell'intento di pervenire a una visione complessiva della situazione ambientale comprensiva della imprescindibile componente dinamica. I fenomeni naturali e antropici, nella loro reciproca influenza, per essere adeguatamente descritti e compresi, hanno bisogno di uno studio nel tempo di parametri individuati come rappresentativi; serve quindi costruire e continuare una serie storica significativa, indispensabile per confronti e modellazioni.

Da questo punto di vista il Museo, oggi Fondazione, in questi anni ha curato con continuità il rilievo periodico della quota della prima falda sfruttando pozzi, pubblici e privati, presenti e accessibili in zona industriale di Rovereto; ha eseguito rilievi geofisici di tipo geoelettrico anche in chiave multitemporale; ha realizzato il monitoraggio della qualità dell'aria attraverso l'utilizzo di licheni bioaccumulatori (dal progetto pilota condotto negli anni 2000, vedi R. Zorer, 2002, alle campagne di rilevazione strutturate nel 2014 e nel 2016 su una rete di controllo, frutto del censimento lichenico svolto sul territorio roveretano nel 2013, fino alla campagna del 2019).

Inoltre dal 2016 grazie alla nuova attrezzatura messa a disposizione dal Comune di Rovereto è stato avviato un progetto di controllo della componente odorigena dell'aria, con postazione di rilevazione in zona industriale, e dal 2018 si è avviata anche la misurazione del particolato atmosferico. In più, in maniera sperimentale, è stato anche avviato un progetto di rilievo del territorio con la tecnica dell'iperspettrale.

Nel controllo ambientale vanno inoltre annoverati il monitoraggio entomologico di insetti molesti di interesse sanitario, quali la zanzara tigre (dal 1997 ad oggi) e i flebotomi (campagne di misura 2002 e 2004 con il supporto dell'Istituto Superiore di Sanità), e di insetti di interesse ecologico, come la *Vespa velutina* (2016; 2017) meglio nota come calabrone asiatico. Questa ricerca ha valenza sovra comunale, così come quella di mappatura della flora e dei suoi cambiamenti nella distribuzione spaziale e temporale, compresa la segnalazione di specie alloctone e aliene, aspetti fortemente collegati all'uso del suolo, alla qualità ambientale oltre che ai cambiamenti climatici. Le postazioni di controllo e/o i punti di rilievo sono consultabili nel sistema WebGis collegato al sito EMAS, http://www.emasrovereto.it/emas_home.jsp, del Comune di Rovereto, che è costantemente aggiornato nei contenuti. Per il progetto di monitoraggio della zanzara tigre esiste inoltre un sito internet dedicato, sviluppato e mantenuto dalla Fondazione MCR, con i dati raccolti fino a tutto il 2019: https://zanzara.fondazionemcr.it/zanz_home.jsp.

Dal 2019 in poi i dati vengono invece immessi nel sito web del tavolo di lavoro provinciale gestito dalla Fondazione Mach raggiungibile all'indirizzo <https://vettoritrentino.it/>. Di seguito verrà dedicato un paragrafo di approfondimento agli ambiti di ricerca portati avanti nel 2021.

2. Monitoraggio ambientale

Il monitoraggio ambientale ha riguardato nel 2021 le matrici aria (sia in termini di odore che di polveri sottili) e acqua, oltre alle componenti entomologiche e floristiche. La campagna di biomonitoraggio della qualità dell'aria tramite licheni epifiti, eseguita l'ultima volta a gennaio 2019, viene ripetuta nello stesso periodo anche nel 2022 (in modo da avere il periodo di controllo confrontabile anche con quello delle precedenti campagne di indagine 2014 e 2016) e avere così una serie temporale esplicativa della naturalità ambientale del comune di Rovereto.

2.1 Monitoraggio della qualità dell'aria: molestia odorigena

Per la registrazione della componente odorigena dell'aria ci si è avvalsi:

- della strumentazione Pen3Meteo (naso elettronico).
- di cittadini segnalatori che collaborano sistematicamente al progetto di monitoraggio degli odori (nasi umani);

Stazione automatica di rilevazione Pen3Meteo (naso elettronico)

Per quanto riguarda la rilevazione della molestia odorigena nel 2021 con la strumentazione Pen3Meteo, detta “naso elettronico”, per i periodi gennaio–aprile e maggio–agosto, si rimanda ai rispettivi report tematici consultabili on-line nella pagina “DATI” del sito EMAS (http://www.emasrovereto.it/emas_dati). Dalla stessa pagina è possibile accedere anche ai grafici costruiti col dato acquisito dalla strumentazione nei periodi di misura in continuo. La creazione di questi grafici, che vengono aggiunti periodicamente, non è automatizzata e richiede all'operatore molto tempo per l'assemblaggio manuale di migliaia di misure; attualmente risultano scaricabili i grafici relativi alle rilevazioni dal 2016 fino ad agosto 2021 compreso. Infine on line è presente anche una rappresentazione grafica di sintesi con gli eventi odorigeni caratterizzati da un'intensità relativa di odore pari o superiore a 2, di tutto il periodo temporale controllato (dal 2016 al 2020) e a breve sarà pubblicata la versione aggiornata fino a tutto il 2021.

In generale la registrazione effettuata dalla strumentazione risente fortemente della posizione in cui la strumentazione stessa è installata, sia per il fatto di essere più vicina ad una sorgente rispetto ad un'altra, sia per l'andamento prevalente dei venti. Tutto ciò influenza l'intensità di odore misurato e l'eventuale prevalenza di alcune sorgenti rispetto ad altre. Dal 21 maggio 2019 la centralina di misura (naso elettronico, punto di aspirazione dell'aria e anemometro) è installata all'aperto, in area verde, presso la postazione, già utilizzata in passato, di via Pederzini dove è ancora operativa (Fig. 1).

Dal 13 maggio 2019, viste le segnalazioni di eventi odorigeni brevi ma molesti (zaffate), si è preferito impostare la modalità di acquisizione in modo da accorciare il tempo di pulizia e raccogliere misure più ravvicinate e dunque aumentare la copertura temporale. Si è quindi abbassato l'intervallo di pulizia da 500 s a 300 s, cui segue una misura per la durata di 100 s. Ciò significa che ciascuna misura (tra pulizia e campionatura) copre un intervallo temporale di circa 400 s, vale a dire poco meno di 7' mentre in precedenza l'intervallo complessivo era di 10' (600 s).



Fig. 1. Postazione di misura del naso elettronico in via Pederzini a Rovereto.

Riassumendo dal primo settembre 2021 al 31 dicembre 2021 la quantità di dati raccolti è stata la seguente:

- ✓ Giorni di misura: 121 (dato aggiornato al 31 dicembre compreso)
- ✓ N. totale misure: 25351 (dato aggiornato al 31 dicembre compreso)
- ✓ N. misure al giorno: ca. 210.

Col 4 febbraio del 2021 il naso elettronico del comune di Rovereto è stato nuovamente rimosso e spedito a PCA Technologies per essere controllato e revisionato a causa di una anomalia nella rilevazione degli odori che ha cominciato a presentarsi a fine ottobre dell'anno 2020. Tale problematica rende perciò scorretti i dati raccolti dal PEN3 negli ultimi due mesi dello scorso anno e fino al 4 febbraio 2021, quando lo strumento è stato sostituito con uno equivalente, cortesemente messo a disposizione dalla stessa PCA Technologies.

Quindi dal 29 ottobre 2020 fino al 4 febbraio 2021 le misure effettuate non sono utilizzabili e solo quelle rilevate dal 4 febbraio in poi sono inserite nello schema riassuntivo del lavoro svolto dallo strumento riportato qui di seguito.

Nel corso dell'intero anno 2021 i dati raccolti sono quindi i seguenti:

- ✓ Giorni di misura: 314 (dato aggiornato al 31 dicembre compreso)
- ✓ N. totale misure: 64974 (dato aggiornato al 31 dicembre compreso)
- ✓ N. misure al giorno: ca. 207.

Le misure acquisite dal naso elettronico sono confrontate in automatico dal software WinMuster, tramite l'operazione statistica di correlazione, con le sorgenti odorigene campionate finora, vale a

dire le emissioni degli impianti Suanfarma (ex Sandoz), Aquaspace, Discarica e Depuratore e con la cosiddetta “aria base”, corrispondente alla misura dell’aria di fondo¹.

La mole di dati raccolta giornalmente è notevole, ciò nonostante oltre alla procedura automatica si è scelto di svolgere anche un lavoro di controllo del dato grezzo da parte dell’esperto. Dato che l’operazione automatica via software prevede di considerare, per l’attribuzione della sorgente di odore, solo gli ultimi 20 s dei 100 s di misura (procedura in linea con la normativa in materia), le singole misure vengono anche esaminate per tutta la durata (100 s) al fine di avere un quadro completo di quanto rilevato. Analizzare per intero la finestra di misura consente infatti di evidenziare tutti gli eventi, compresi quelli non persistenti (di breve durata) quali le zaffate, estrarre le informazioni relative alla intensità relativa di odore e attribuire - se di interesse - la sorgente odorigena. Nei periodi di misura in continuo l’andamento delle registrazioni è quindi visionato in tempo quasi reale dal gruppo di lavoro della Fondazione MCR che sfrutta, a tal fine, un sistema di *remote control* con trasmissione dei dati in continuo dalla centralina (posta al momento in zona industriale) al server dedicato.

Di seguito si riportano i grafici, costruiti per i singoli anni dal 2016 al 2021, pertinenti agli eventi odorigeni con intensità relativa pari o superiore al livello 2, aggiornati al 31 dicembre 2021 (Figg. 2-7). Comprendono e considerano tutti i periodi di rilevazione in continuo effettuati dal naso elettronico da maggio 2016 a fine 2021. Da un periodo all’altro, avendo il naso elettronico cambiato postazione di misura, ciascuna collocazione è stata contraddistinta nel grafico da simboli diversi. Quando nel grafico si riutilizza lo stesso simbolo, in un intervallo successivo, vuol dire che la strumentazione è stata riposizionata nel medesimo luogo.

¹ Aria di fondo che rappresenta l’aria priva, a detta delle persone presenti presso il punto di monitoraggio, di un particolare odore e considerata quindi convenzionalmente inodore.

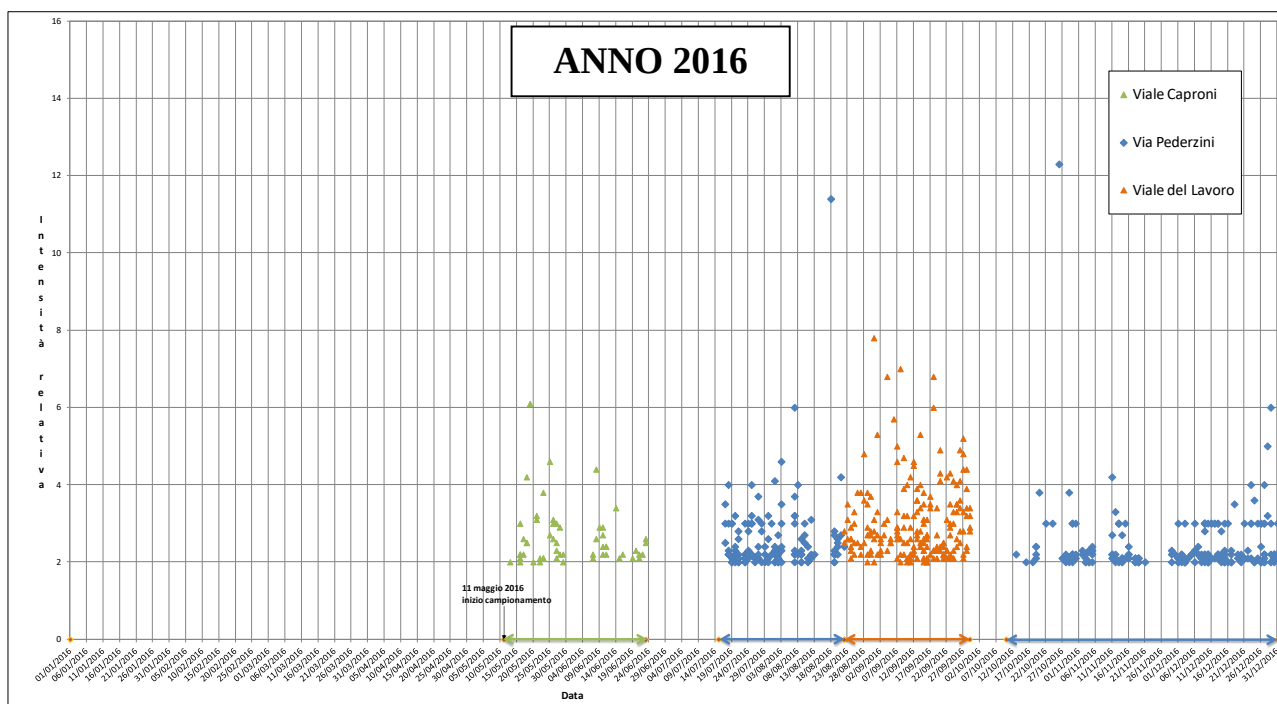


Fig. 2. Grafico dell'andamento nel tempo (dall'11 maggio 2016 al 31 dicembre 2016) dei periodi con intensità relativa dell'odore pari o superiore a 2. Le frecce orizzontali sull'ascissa rappresentano gli intervalli temporali in cui la strumentazione Pen3Meteo ha registrato in continuo.

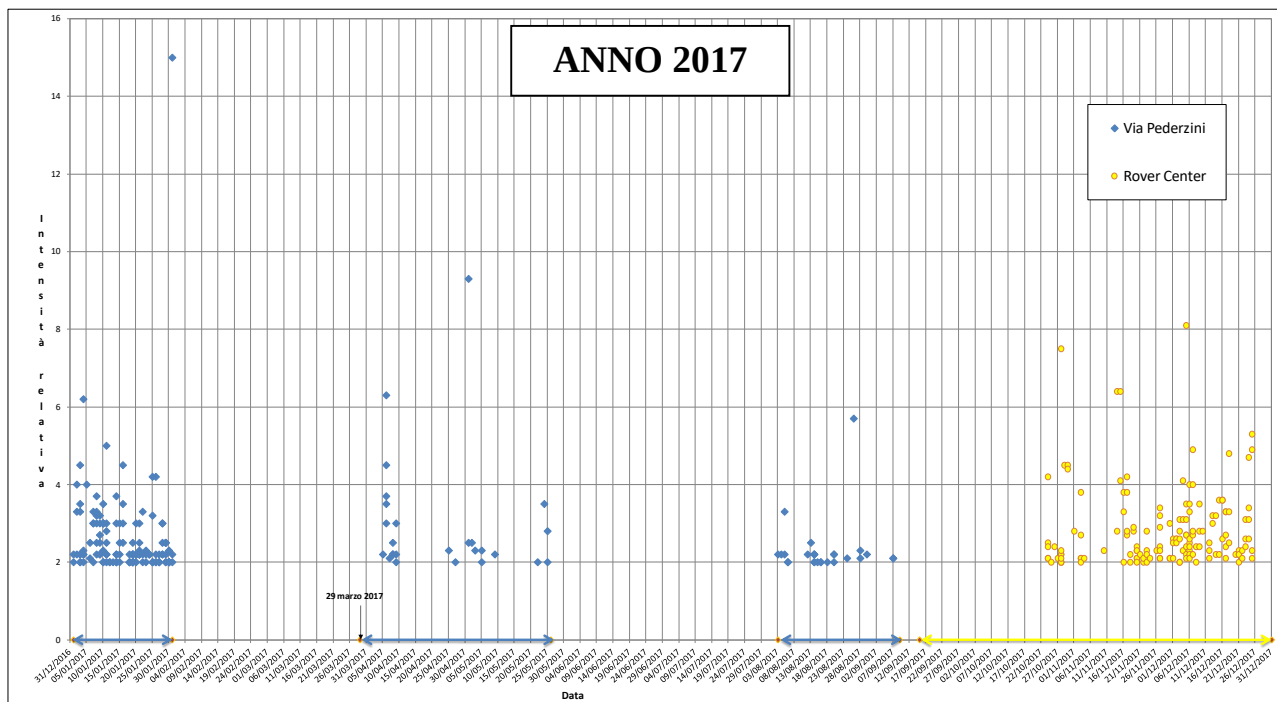


Fig. 3. Grafico dell'andamento nel tempo (dal 1 gennaio 2017 al 31 dicembre 2017) dei periodi con intensità relativa dell'odore pari o superiore a 2. Si osservi che dal 29 marzo 2017 è divenuto operativo il sistema di abbattimento odori della Azienda Sandoz ID (oggi Suanfarma S.p.A.). Le frecce orizzontali sull'ascissa rappresentano gli intervalli temporali in cui la strumentazione Pen3Meteo ha registrato in continuo.

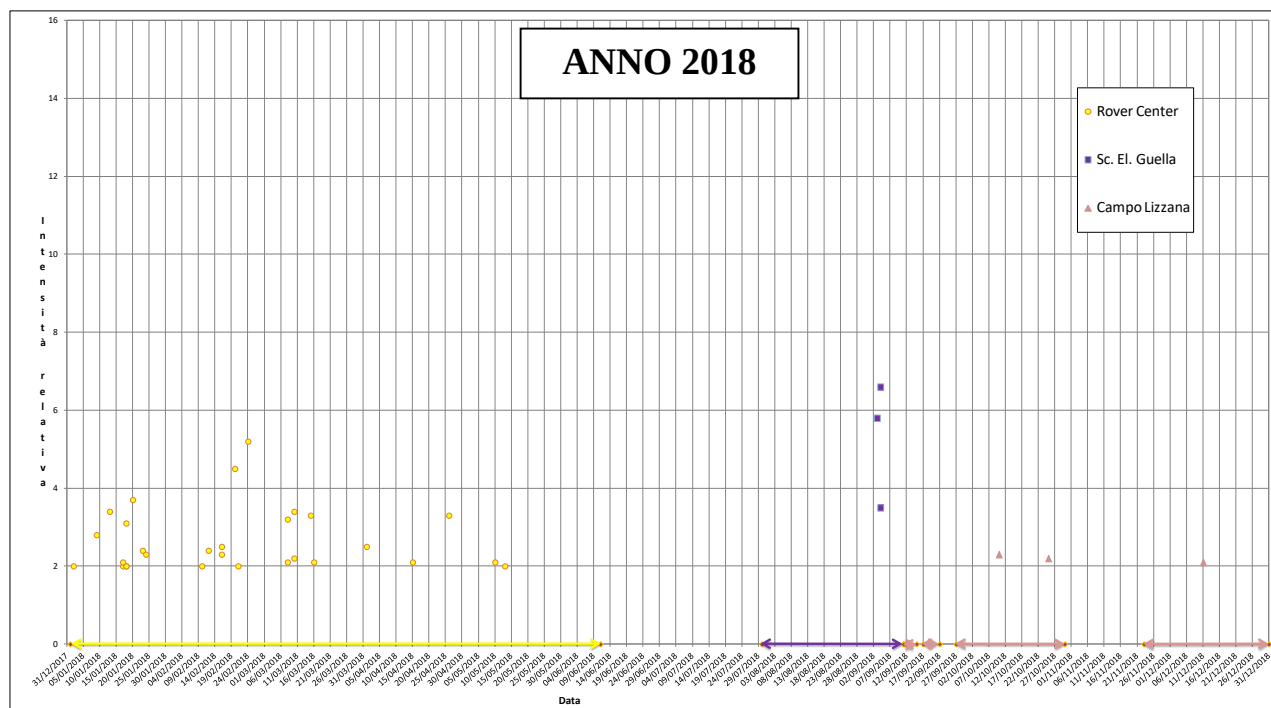


Fig. 4. Grafico dell'andamento nel tempo (dal 1 gennaio 2018 al 31 dicembre 2018) dei periodi con intensità relativa dell'odore pari o superiore a 2. Le frecce orizzontali sull'ascissa rappresentano gli intervalli temporali in cui la strumentazione Pen3Meteo ha registrato in continuo.

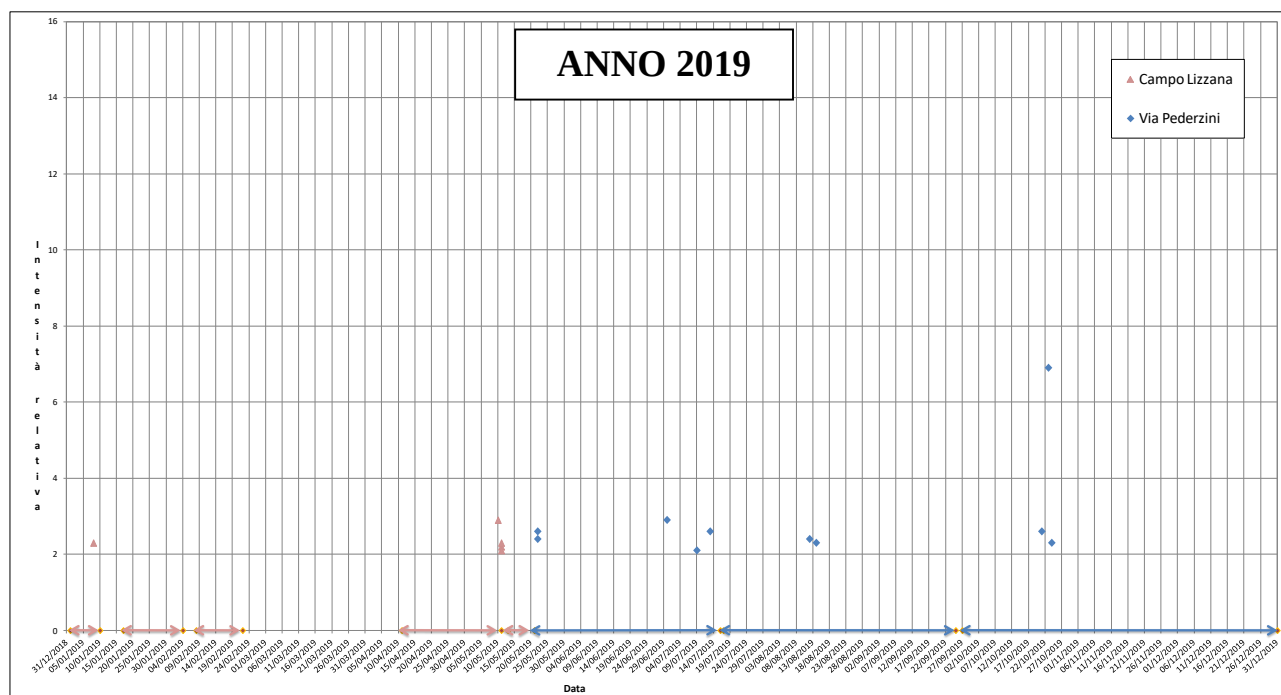


Fig. 5 Grafico dell'andamento nel tempo (dal 1 gennaio 2019 al 31 dicembre 2019) dei periodi con intensità relativa dell'odore pari o superiore a 2. Le frecce orizzontali sull'ascissa rappresentano gli intervalli temporali in cui la strumentazione Pen3Meteo ha registrato in continuo.

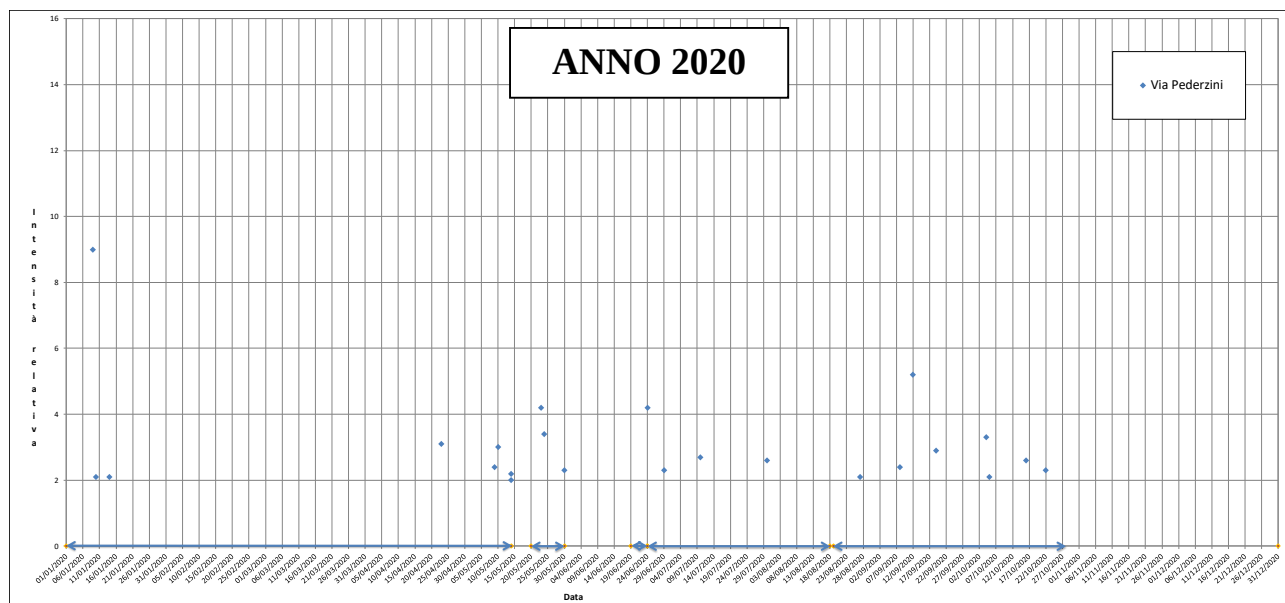


Fig. 6 Grafico dell'andamento nel tempo (dal 1 gennaio 2020 al 31 dicembre 2020) dei periodi con intensità relativa dell'odore pari o superiore a 2. Le frecce orizzontali sull'ascissa rappresentano gli intervalli temporali in cui la strumentazione Pen3Meteo ha registrato in continuo.

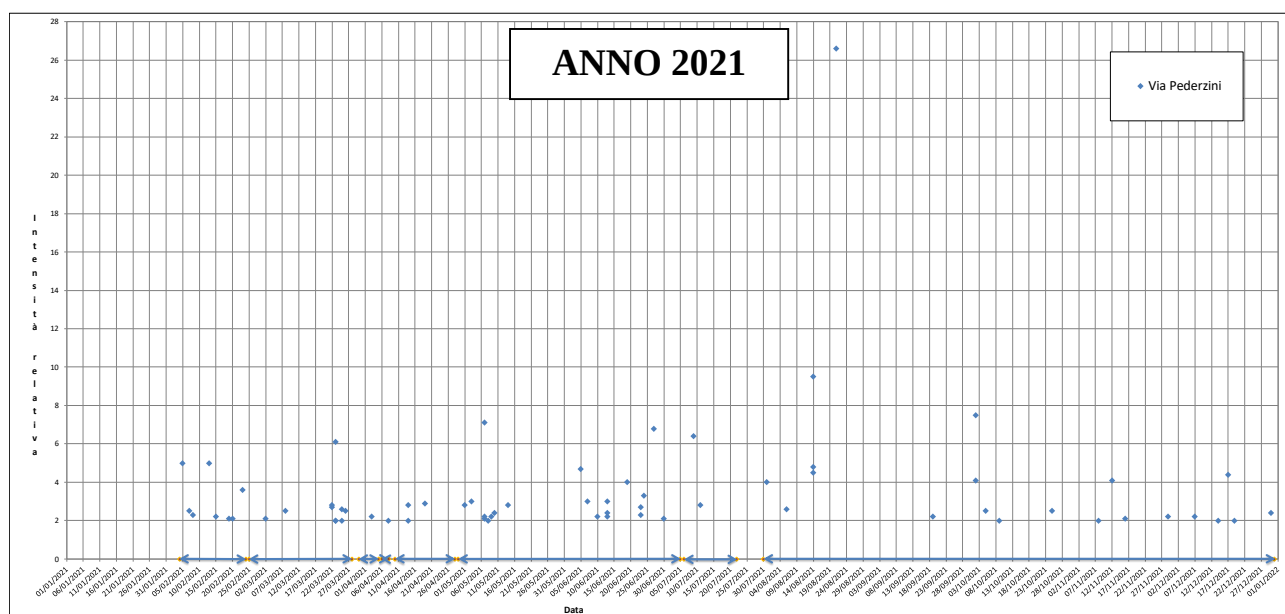


Fig. 7 Grafico dell'andamento nel tempo (dal 1 gennaio 2021 al 31 dicembre 2021) dei periodi con intensità relativa dell'odore pari o superiore a 2. Le frecce orizzontali sull'ascissa rappresentano gli intervalli temporali in cui la strumentazione Pen3Meteo ha registrato in continuo.

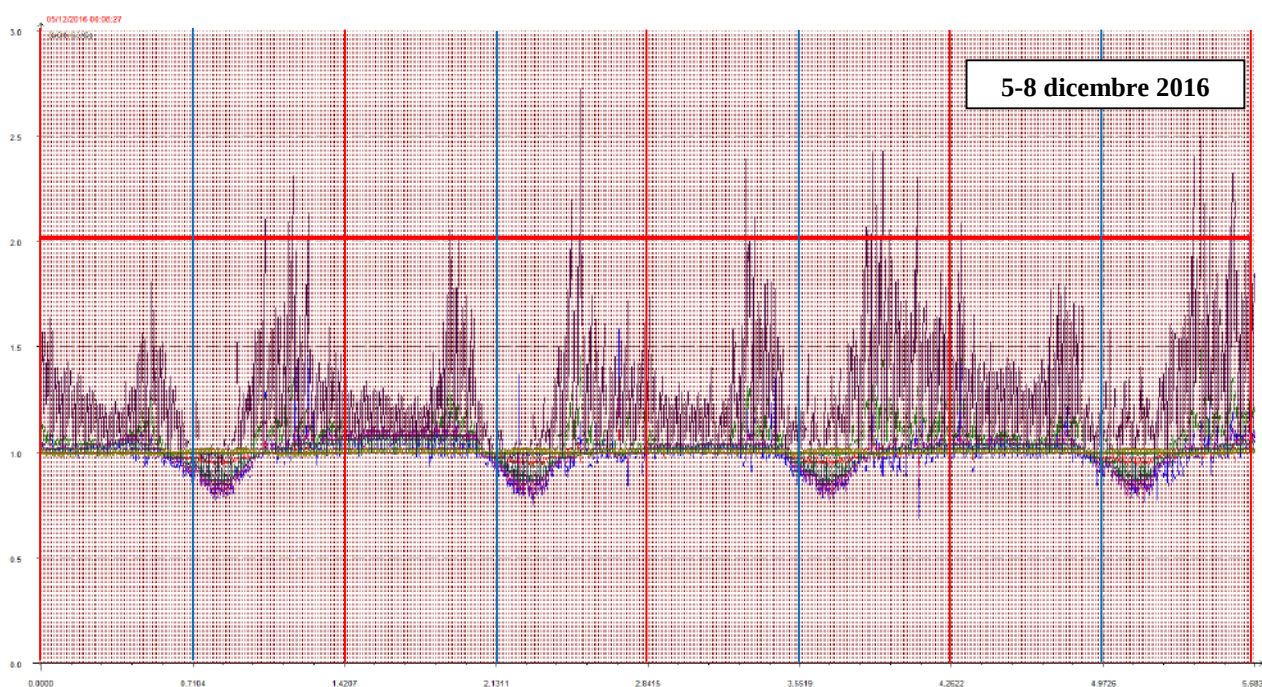
I grafici (compreso quello di figura 12) mostrano per i periodi di acquisizione, il diradarsi della molestia dopo l'entrata in funzione, a fine marzo 2017, del sistema di abbattimento odori dell'azienda Sandoz IP (oggi Suanfarma S.p.A), pur non essendo mancati momenti in cui il fastidio era tornato a crescere, come tra fine ottobre e fine dicembre 2017 (pallini gialli nel grafico di figura 3). Con l'inizio

del 2018 gli eventi si sono rarefatti con sporadici episodi intensi che sono diventati sempre più rari nel corso del 2019 così come nel 2020 e nel 2021.

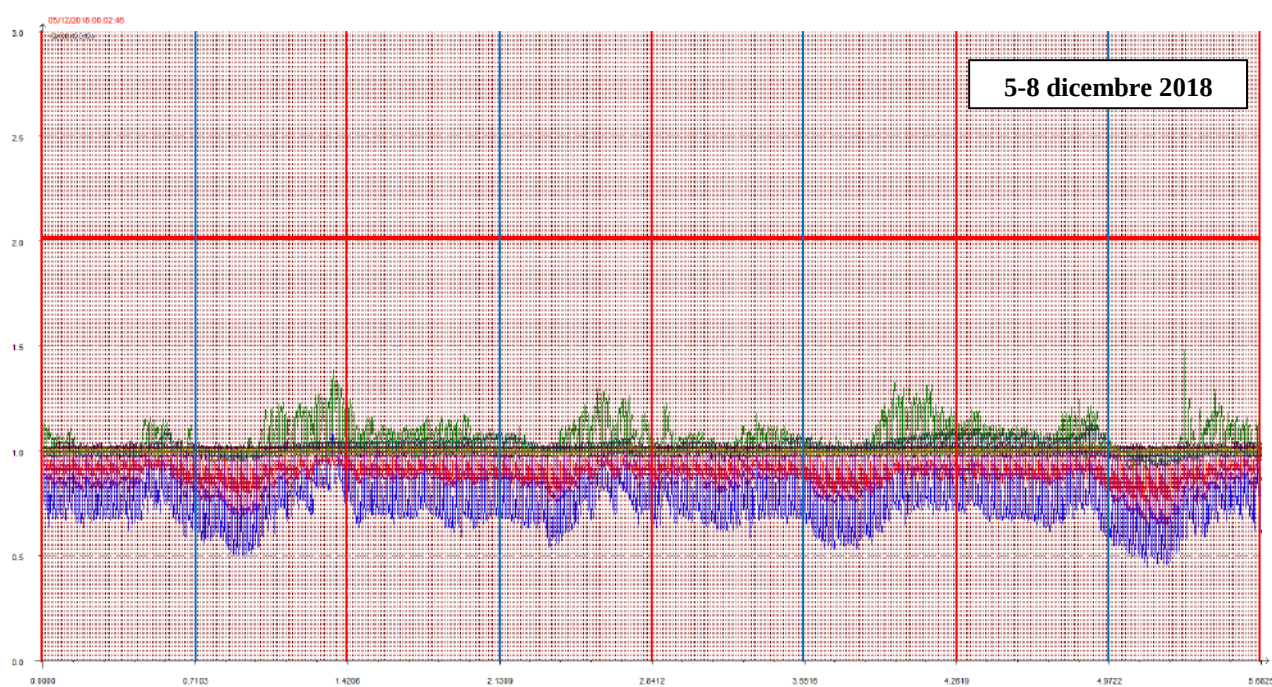
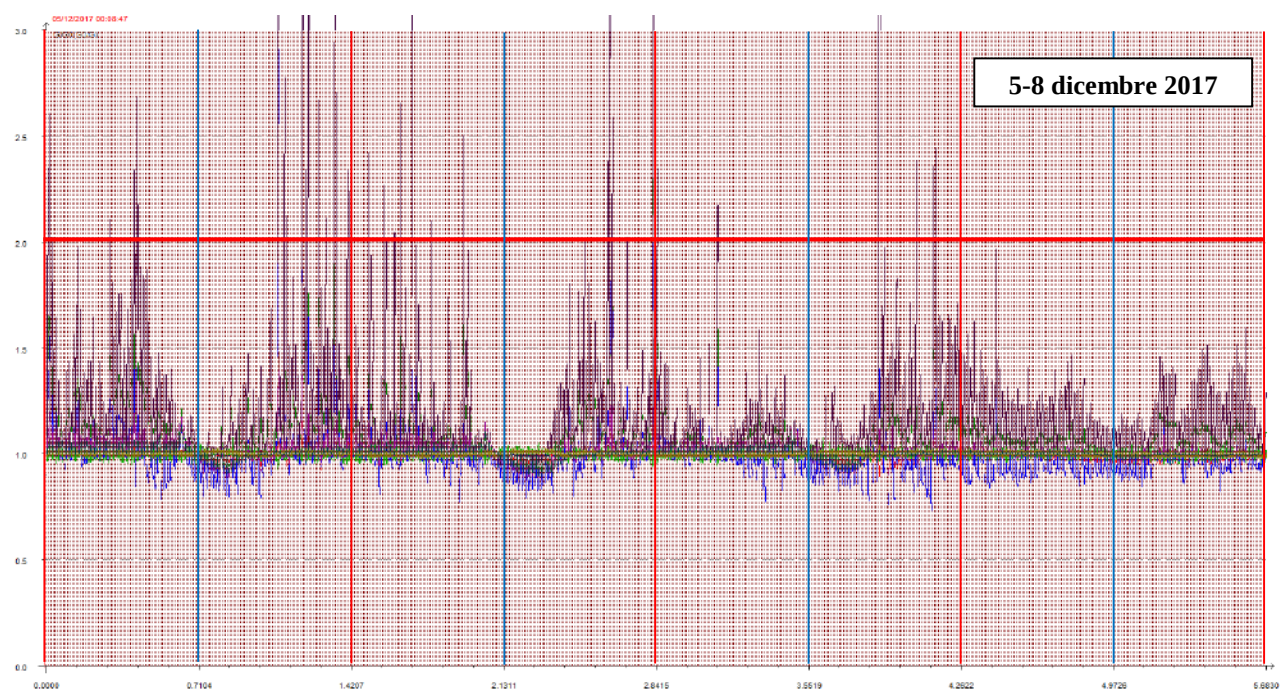
Nel corso di quest'anno sono stati registrati dalla strumentazione 67 casi con odori al di sopra della soglia relativa 2, con una frequenza leggermente maggiore tra la primavera e l'estate. Questa soglia è stata ritenuta significativa e rappresentativa di condizioni di sicura molestia, ciò non di meno si ravvisa, stando alle segnalazioni dei nasi umani, che da quando le condizioni medie dell'aria sono migliorate, già in condizioni di zaffate di intensità relativa misurata attorno a 1.5 l'odore risulta essere avvertibile (in base alla scala convenzionale di intensità percepita) e in alcuni casi molesto.

È doveroso ricordare che nulla si può dire dei momenti in cui il naso elettronico non è stato operativo, o per manutenzione o per problemi tecnici, i cui intervalli temporali sono facilmente individuabili nel grafico di figura 7 dove le frecce orizzontali sull'asse delle ascisse sono interrotte.

Si riporta di seguito un confronto fra le misurazioni degli odori (Fig. 8) in quattro analoghe finestre temporali nelle giornate dal 5 all'8 dicembre degli anni che vanno dal 2016 al 2021, quale esempio di quanto la situazione in termini di odore nella zona indagata sia molto migliorata negli ultimi anni². Anche se si tratta di intervalli di pochi giorni questi possono essere presi come rappresentativi di finestre temporali più ampie, come supportato in larga parte anche dalle segnalazioni dei nasi umani (Tab. 1), oltre che dalle rilevazioni elettroniche delle intensità di odore sintetizzate nei grafici delle figure da 2 a 7 e in figura 12.



² Come già evidenziato, nell'ultima parte dell'anno 2020 (novembre e dicembre) è stata riscontrata un'anomalia nel sistema di acquisizione dei dati del naso elettronico e quindi le misure sono state scartate; perciò in Fig. 8 non è riportato il grafico relativo al periodo 5-8 dicembre 2020.



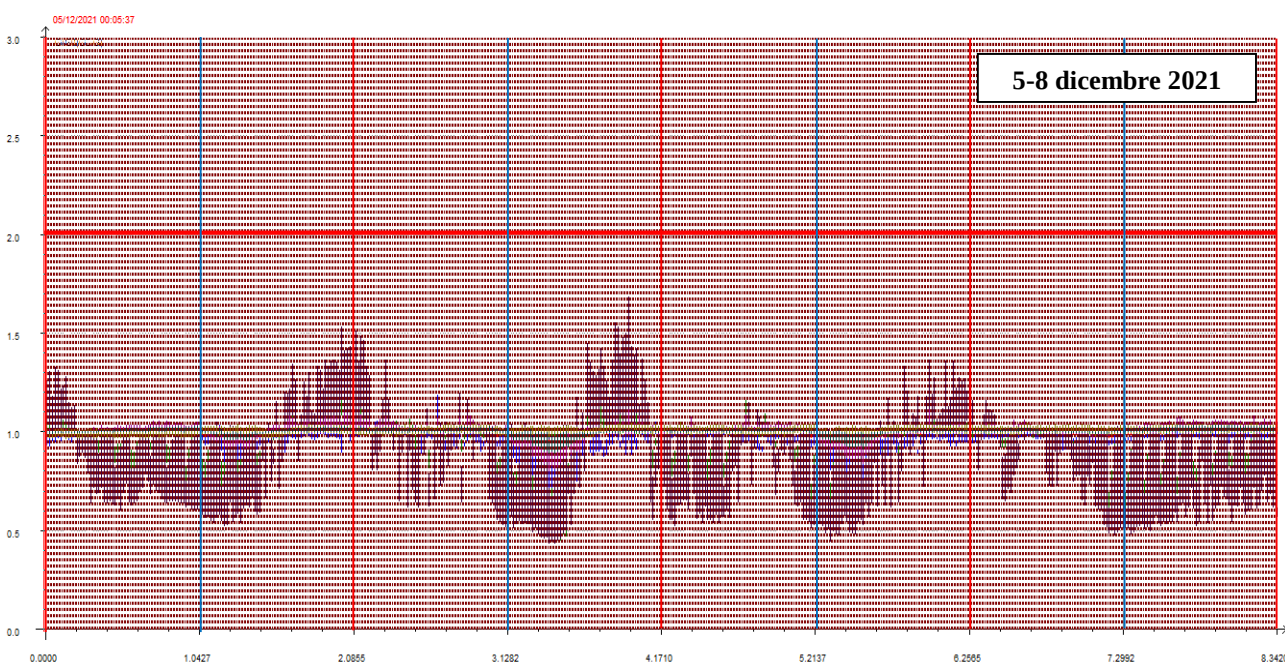


Fig. 8. A confronto, a titolo di esempio, i cinque grafici relativi agli anni che vanno dal 2016 al 2021 (escluso il 2020) dell'intensità relativa di odore registrata dal naso elettronico nei medesimi giorni, ossia dal 5 all'8 dicembre³.

³ Per la lettura dei grafici: la linea rossa orizzontale sta a indicare la soglia di intensità relativa pari a 2, questa soglia è stata ritenuta significativa e rappresentativa di condizioni di sicura molestia; le linee rosse verticali stanno a indicare la mezzanotte di ogni giornata mentre le linee azzurre verticali indicano il mezzogiorno.

Guardando infine al complesso dei dati rilevati nel corso del 2021 si riconosce una certa ciclicità giornaliera, a volte più evidente a volte meno, nell'intensità relativa dell'odore, forse dovuta alle attività industriali limitrofe, che però disegna un andamento caratterizzato da valori che sono solitamente ben al di sotto della soglia di percezione.

Rete dei cittadini segnalatori (nasi umani)

Ad oggi la rete di “nasi umani” consta di cinque collaboratori⁴ che inviano puntualmente le loro segnalazioni alla Fondazione MCR, nella scheda appositamente confezionata (in linea con quelle normalmente usate per questo tipo di indagini) per gli odori molesti percepiti.

Come per il passato si sono prese in considerazione anche le eventuali comunicazioni pervenute alla Fondazione MCR per tramite dell'Ufficio Ambiente del Comune di Rovereto sebbene, nel corso dell'anno, non siano giunte altre informazioni puntuali oltre a quelle dei collaboratori sopra detti (in tabella 1 quelle dell'ultima parte del 2021).

Nel corso del 2021 le finestre temporali comprendenti le comunicazioni dei nasi umani sono quasi sempre state interessate anche dalle registrazioni in continuo del naso elettronico, tranne un unico avviso riportato nel mese di gennaio, quando il pen3Meteo era fuori uso.

In totale nel 2021 si sono avute 69 comunicazioni da parte dei cittadini collaboratori. Dal grafico di figura 9 è possibile notare come sia stato avvertito un maggiore fastidio nei mesi di settembre e ottobre, dove si sono concentrate più della metà delle segnalazioni. Fastidio che poi, come in passato, è andato decisamente a smorzarsi nei mesi più freddi. Alla luce di questi dati, l'anno 2021 risulta essere stato quello con la minor molestia percepita dalla popolazione da quando nel 2016 è cominciato il monitoraggio degli odori nei pressi della zona industriale (Fig. 11).

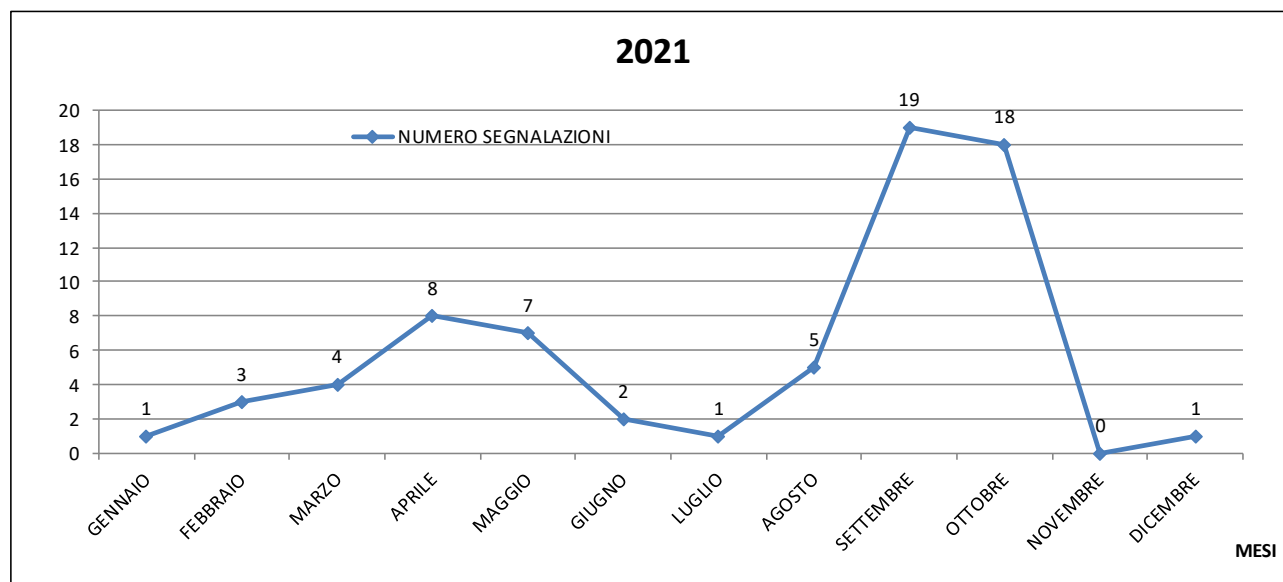


Fig. 9. Grafico della frequenza delle segnalazioni dei cittadini di Lizzana (e dintorni) coinvolti nel progetto di monitoraggio ambientale per ogni mese del 2021.

⁴ Uno dei quali fornisce le segnalazioni sia dal domicilio che dal luogo di lavoro.

Legenda segnalatori

ID segnalatore	INDIRIZZO
4	Via Pederzini
5	Via dell'Artigiano
6	Via Caproni
8	Via Don Brachetti
10	Via Grandi
11	Corso Verona

Legenda intensità odore

1	percepibile /distinguibile
2	forte
3	molto forte
4	fortissimo

Data	ID	Ora iniziale	Ora finale	Intensità	Note dei segnalatori
1-30/09/2021	8				Nulla di nuovo sul fronte odori nell'aria. Non ho sentito particolari odori nel mese di settembre
17/09/21	4	notte		3	Puzza; sereno
18/09/21	4	notte		3	Puzza; nuvoloso
20/09/21	6	14:00	16:00	2	Solita puzza...; coperto; ventoso
20/09/21	10	14:00	14:30	2	Zaffate fogna; sereno
21/09/21	6	14:00	16:00	2	Solita puzza...; velato; poco vento
21/09/21	4	notte		3	Puzza
22/09/21	6	14:00	16:00	2	Solita puzza...; velato; poco vento
22/09/21	4	17:00		3	Puzza/zaffate
22/09/21	4	notte		3	Puzza
23/09/21	4	pomeriggio		2	Puzza; sereno
24/09/21	4	tutto il giorno		3	Puzza; sereno
25/09/21	4	tutto il giorno		2	Puzza; sereno
25/09/21	10	14:00	?	2	Zaffate fogna; sereno
26/09/21	4	tutto il giorno		2	Puzza; coperto
27/09/21	4	17:00		3	Forti zaffate; sereno
27/09/21	10	14:00	14:45	2	Zaffate fogna; sereno
28/09/21	4	tutto il dì		2	Puzza;
29/09/21	4	16:30		3	Puzza;
30/09/21	4	tutto il dì		2	Puzza; sereno
1-31/10/2021	8				Qui a Rovereto sud Lizzanella l'aria è priva di odori forti o molesti, non è eccellente di sicuro ma non sento odori di muffe o peggio
1-31/10/2021	6				Nulla da segnalare, se non leggera puzza sottofondo nelle prime ore pomeriggio quasi sempre
01/10/21	4	tutto il dì		3	Puzza; sereno
02/10/21	4	pomeriggio		4	Puzza; sereno
04/10/21	4	tutto il dì		3	Puzza;

Data	ID	Ora iniziale	Ora finale	Intensità	Note dei segnalatori
04/10/21	5	Tutto il dì		3	Puzza; tempo variabile
05/10/21	4			3	Puzza; sereno
05/10/21	5	Tutto il dì		3	Puzza; tempo sereno
08/10/21	4			3	Puzza; tempo variabile
08/10/21	5	Tutto il dì		3	Puzza; tempo variabile
10/10/21	4	14:30		3	Zaffate; sereno
11/10/21	4	17:00		3	Puzza fortissima
11/10/21	5	09:20		3	Puzza fortissima
12/10/21	4	16:30		3	Zaffate; sereno
16/10/21	4	pomeriggio		3	Forti zaffate poi puzza; sereno
16/10/21	4	21:00		3	Puzza forte; sereno
16/10/21	10	17:00	17:15	2	Zaffate fogna; sereno
18/10/21	5	10:30		3	Puzza fortissima
25/10/21	10	15:00	?	2	Zaffate fogna; sereno
29/10/21	5	10:00	?	3	Puzza;
1-30/11/2021	8				Per il mese di novembre non ho nulla da segnalare
1-30/11/2021	6				Nulla da segnalare
1-30/11/2021	10				Non ho segnalazioni da fare per il mese di novembre
1-30/11/2021	4				Fortunatamente per novembre non ho segnato nulla di rilevante
1-30/11/2021	5				Fortunatamente per novembre non ho segnato nulla di rilevante
1-31/12/2021	8				Non segnalo odori o altro per il mese di dicembre
1-31/12/2021	6				Nulla di particolare da segnalare
1-31/12/2021	10				Non ho segnalazioni da fare per il mese di dicembre 2021
1-31/12/2021	4				Per ora non ho segnalazioni particolari per dicembre fino ad oggi
1-31/12/2021	5				Per ora non ho segnalazioni particolari per dicembre fino ad oggi
20/12/21	11	14:45	17:00	3	Moltissima puzza di marcio; meteo: secco

Tab. 1. Elenco delle segnalazioni dei nasi umani da settembre a dicembre 2021. Per il periodo qui considerato non sono pervenute indicazioni ulteriori tramite l'Ufficio Ambiente del Comune di Rovereto.

Da settembre a dicembre 2021 il monitoraggio della qualità dell'aria in termini di molestia odorigena è stato svolto dalla strumentazione Pen3Meteo in modo continuo (Fig. 7).

Nel corso di questo periodo di tempo ha rilevato 15 episodi a carattere di zaffata sopra la soglia di intensità relativa pari a 2, ma nessuno di questi è stato però percepito dai nasi umani nonostante alcuni

eventi fossero di valore piuttosto elevato e in orari diurni. Le segnalazioni di odore molesto comunicate dai cittadini di Lizzana e dintorni sono state invece 41.

Il numero degli eventi sopra soglia rilevati dalla macchina in tutto il 2021 è praticamente comparabile a quello delle indicazioni dei nasi umani (67 vs 69). La frequenza delle segnalazioni sia da parte dello strumento sia da parte dei collaboratori, dal 2018 a oggi è costantemente di molto inferiore ai primi due anni di monitoraggio (2016 e 2017). Fa eccezione l'anno 2020, durante il quale i cittadini che collaborano al monitoraggio avevano rilevato una quantità di episodi molto più elevata rispetto agli anni 2018 e 2019 e anche al 2021. Il naso elettronico invece ha mantenuto una certa costanza di rilievo dal 2018 in poi, evidenziando una quantità di episodi intensi sempre piuttosto contenuta rispetto agli anni 2016 e 2017 (Figg. 10, 11 e 12) e quest'anno non fa eccezione anche se il numero di eventi è leggermente superiore al solito.

Nel corso del 2021 solo due segnalazioni dei nasi umani hanno trovato una corrispondenza con i rilievi del naso elettronico e inoltre, solamente 6 eventi odorigeni sono stati rilevati contemporaneamente da almeno due cittadini (in particolare a settembre). Quindi quasi tutti gli episodi individuati dalla strumentazione e dalla popolazione non trovano un riscontro gli uni con gli altri.

La differenza all'interno dell'insieme delle segnalazioni umane potrebbe essere legata al fatto che dal marzo del 2017, da quando cioè Sandoz ID ha installato il sistema di abbattimento odori, il tipo di effluvi ha cambiato caratteristiche, diventando principalmente a carattere di zaffata e con una dispersione sul territorio molto più incanalata e ristretta. Questo potrebbe far sì che un recettore dislocato in un certo punto sul territorio possa percepire un odore che invece un altro spostato di poche decine di metri dal primo non potrà recepire. L'odore risulta localizzato lungo precise fasce di territorio o piccole zone, ragionevolmente funzione della distribuzione e geometria (in pianta e in alzato) degli edifici e del regime dei venti del momento. Se l'assetto urbanistico rappresenta essenzialmente una costante, il regime dei venti è invece rapidamente variabile e quindi le zone interessate dalla molestia cambiano a seconda delle condizioni meteoriche. Questo fenomeno potrebbe così portare gli effluvi, per un certo periodo di tempo, lungo una determinata fascia del territorio, percepibile ad esempio da un cittadino A e, in un momento successivo, al variare della direzione del vento, portare l'aria maleodorante lungo un'altra area che potrebbe essere rilevata da un altro cittadino B, in una zona e in una fascia oraria diverse dalle precedenti.

In ogni caso le osservazioni effettuate dal gruppo di lavoro della Fondazione Museo Civico di Rovereto dal 2016 ad oggi, fanno ipotizzare che, con il miglioramento della qualità dell'aria in termini di odori, è probabilmente aumentata la sensibilità della popolazione e la capacità di discriminare effluvi meno intensi rispetto al passato.

Le differenze di percezione dei nasi umani rispetto al naso elettronico sono in parte da ricercarsi nelle stesse considerazioni fatte per le differenze riscontrate tra le segnalazioni dei cittadini stessi. In parte, sono cioè legate al fatto che la macchina è dislocata in un punto ben preciso del territorio ed è quindi soggetta alle stesse problematiche viste in precedenza. I sopralluoghi svolti dal gruppo di lavoro della Fondazione MCR nel corso dell'estate tra la zona industriale e l'abitato di Lizzana, hanno confermato come l'odore abbia una caratteristica distribuzione a macchia di leopardo e con forte variabilità, oltre che nello spazio, anche nel tempo.

Altro aspetto sarebbe legato alle proprietà degli episodi di disturbo che sembrano avere soprattutto il carattere di zaffate, brevi ma ripetute nel tempo. Questi eventi non possono essere rilevati se avvengono nel momento in cui la strumentazione sta procedendo alla pulizia dei sensori che quindi rimangono invisibili alla macchina. Infatti, come spiegato nel paragrafo dedicato, su 400 secondi dell'intero ciclo di lavoro solo 100 sono di effettiva misurazione, i restanti sono di pulizia e servono per ripristinare i sensori. Questo processo determina, in parole povere, che la macchina ha una possibilità su quattro⁵ di intercettare gli episodi di breve durata, come quelli che si presentano in forma di zaffate.

Quindi, per disporre di un quadro della situazione significativo e rappresentativo della dispersione di odore rimane fondamentale ricevere, oltre ai dati strumentali (relativi ad una postazione fissa), anche le segnalazioni di una rete di nasi umani ben distribuita sul territorio in esame. Al momento risulta ancora scoperta la zona di Lizzana alta. I segnalatori sono infatti concentrati in zona industriale e fascia residenziale direttamente limitrofa (a valle della statale del Brennero), fatta eccezione per ID 8 e ID 11 che si trovano a Lizzanella.

Dai grafici riportati nelle figure 10, 11 e 12 è possibile infine ricavare un paio di indicazioni. In primo luogo, si può notare che dal 2018 in poi vi è stata una netta riduzione delle segnalazioni elettroniche, mentre quelle umane, pur avendo registrato una certa diminuzione, si sono attestate in percentuale, su valori meno bassi⁶ (inoltre nel 2020, hanno fatto registrare un forte incremento a fronte di un minimo aumento registrato dal naso elettronico).

In secondo luogo si può notare come la quantità degli episodi odorigeni segnalati dai nasi umani, negli ultimi anni, compreso il 2021, sia stata generalmente meno elevata nel periodo invernale e tale caratteristica sembra essere confermata anche dalle misurazioni della macchina, anche se in maniera meno marcata (Fig. 12).

Altra osservazione degna di nota e che sembra rendere ragione di un netto miglioramento rispetto ai primi anni, riguarda l'anno di inizio del monitoraggio, ossia il 2016. Se infatti si esaminano le rilevazioni, sia elettroniche che umane per quell'anno, si può notare che, pur essendo cominciate solamente tra maggio e luglio, queste hanno fornito una quantità di segnalazioni, in pochi mesi, decisamente superiore a quella di tutti gli anni successivi. (Figg. 10 e 11).

⁵ Approssimando e semplificando molto il concetto.

⁶ Oltre alla già specificata ipotesi della maggiore sensibilità dei nasi umani, bisogna inoltre tenere conto che è solo da metà novembre del 2019 che i segnalatori umani sono stabilmente in numero di cinque, mentre prima di allora erano sempre stati due o tre (tranne che per il 2016 quando per qualche mese si erano avuti cinque collaboratori). Il numero maggiore o minore di segnalatori falsa quindi i risultati del confronto diretto tra le annate.

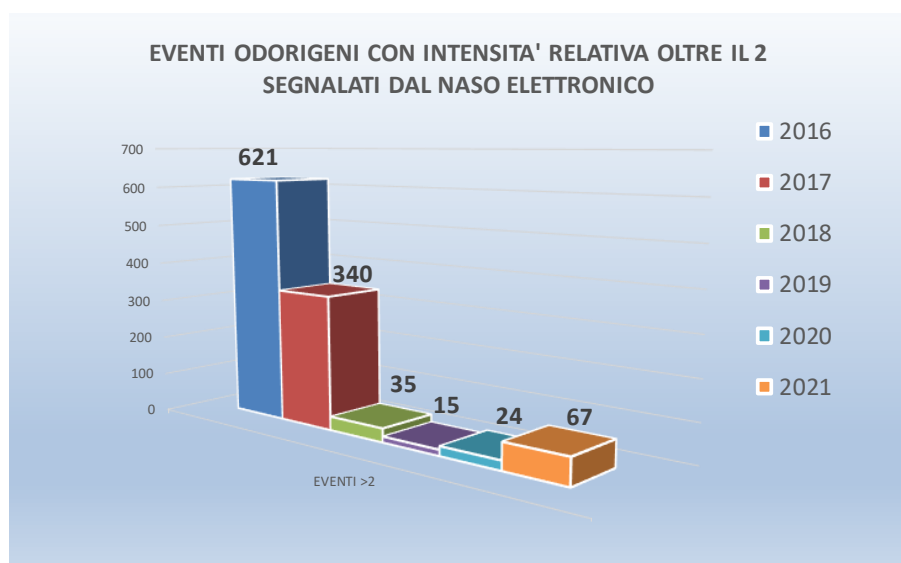


Fig. 10. Totale degli eventi odorigeni con intensità relativa superiore al 2 individuati dal naso elettronico dal 2016 al 2021.

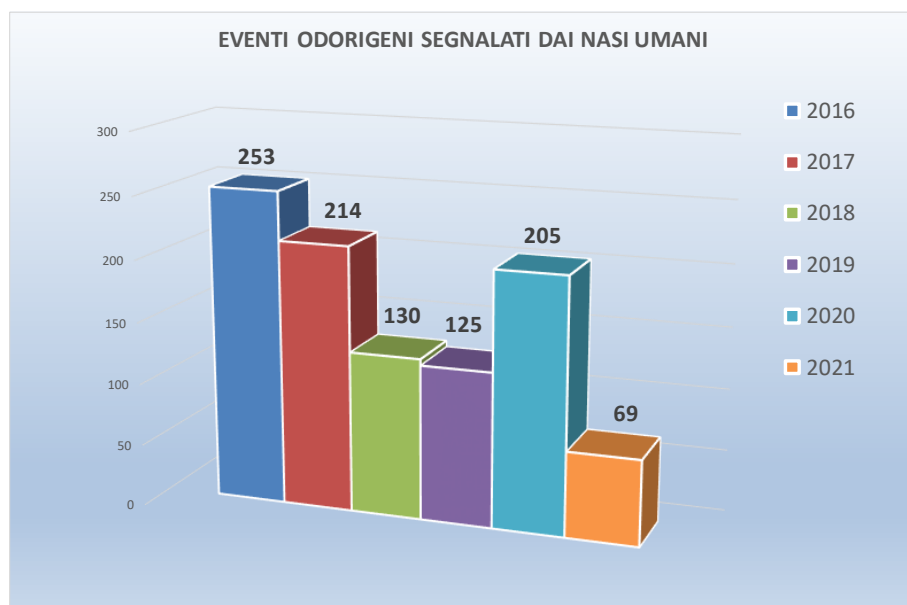


Fig. 11. Totale degli eventi odorigeni segnalati dai nasi umani dal 2016 al 2021.

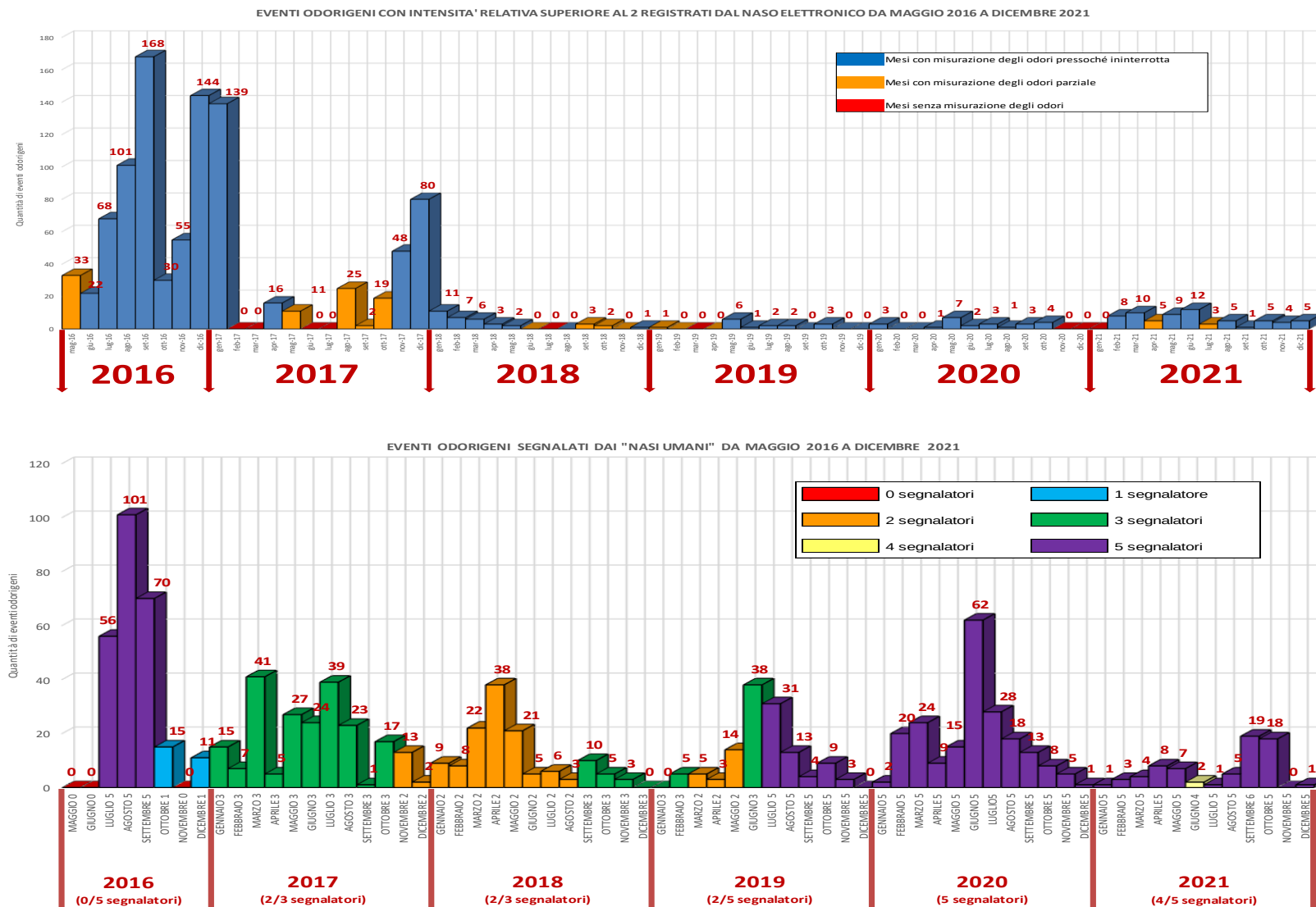


Fig. 12. A confronto il grafico delle rilevazioni mensili del naso elettronico con intensità relativa superiore al 2 (in alto) con quello delle segnalazioni dei nasi umani (in basso; in ascissa i numeri che seguono il mese indicano la quantità di nasi umani) negli anni che vanno dal 2016 al 2021

Manutenzione, sopralluoghi e individuazione di nuove sorgenti odorogene

A partire dal 4 febbraio 2021 è operativo sul campo il pen3Meteo fornito da PCA Technologies equivalente a quello di proprietà del Comune che ha presentato delle anomalie di funzionamento.

Per il tipo di monitoraggio in corso, che può contare anche su una tecnica per il riconoscimento della sorgente in caso di evento molesto, è fondamentale l'aggiornamento periodico del database delle sorgenti odorogene, con eventuale ri-caratterizzazione delle stesse, eliminazione o aggiunta di nuove. Diviene dunque importante considerare le nuove realtà oltre a quelle esistenti dove la gestione dell'impianto ha subito o subirà modifiche rispetto alle condizioni finora considerate, contando sulla disponibilità delle aziende nel fornire informazioni agli uffici competenti del Comune. Il database delle sorgenti deve essere inteso come un'entità dinamica, che va aggiornata e ampliata, così come è dinamica la situazione della zona industriale di Rovereto o, in generale, della zona di influenza sotto monitoraggio.

Per tale motivo quest'anno è in previsione una nuova campagna di acquisizione di campioni di aria dalle varie sorgenti della zona industriale che sono considerate potenzialmente odorogene al fine di aggiornare il pattern di confronto dello strumento e renderlo in grado di riconoscere la fonte a cui riferire un eventuale odore molesto.

Si ricorda inoltre che non è possibile misurare in continuo (come sta avvenendo attualmente) e al contempo analizzare nuove sorgenti; bisogna quindi sempre prevedere un programma di attività che alterni periodi dedicati al campionamento delle fonti odorogene⁷ a periodi di monitoraggio ambientale. Nel corso del 2021 sono stati effettuati frequenti sopralluoghi in zona industriale per saggiare la situazione di odore dell'aria e incrociarla col dato elettronico, ed è stato costante il controllo in remoto della strumentazione Pen3Meteo per verificare l'andamento delle misure e al contempo il corretto funzionamento della macchina (possibile in ogni momento per gli esperti del Museo anche da smartphone).

⁷ Comunque molto brevi di due o tre giorni.

2.2 Monitoraggio della qualità dell'aria: inquinanti e polveri sottili

La qualità dell'aria, in termini di polveri e inquinanti (metalli pesanti in primis), è stata saggiata nel corso del 2021 attraverso l'utilizzo della strumentazione per il campionamento delle polveri sottili disponibile sul laboratorio mobile comunale.



Fig. 13. Mappa del territorio di Rovereto con indicati i luoghi di stationamento del laboratorio mobile comunale nel corso del 2021 e quello della centralina di monitoraggio della qualità dell'aria di APPA.

Rilevazione delle polveri sottili

Nel corso del 2021 sono state svolte quattro campagne di rilevazione delle polveri sottili, della durata di poco più di due settimane ciascuna: due in estate tra giugno e agosto, una tra settembre e ottobre e una a novembre.

In tutti i periodi di misura si sono utilizzati filtri in microfibra di quarzo e nessuna testa di campionamento (es. PM10 o PM 2.5) volendo raccogliere la totalità della polvere atmosferica (TSP ossia Total Suspended Particulate). Le doppie pesate dei filtri sono state effettuate dall'Unità Organizzativa Aria, Agenti Fisici e Bonifiche di APPA, per tramite del suo laboratorio, eseguendo il condizionamento e le pesate dei filtri prima e dopo la rilevazione. E' stato possibile eseguire anche il paragone con la concentrazione di polveri sottili (PM10) rilevata, nelle medesime finestre temporali, dalla stazione presente a Rovereto presso i giardini di via Manzoni (nome identificativo della stazione: "Rovereto LGP"), grazie ai dati messi a disposizione sul web da APPA al link: <https://bollettino.appa.tn.it/aria/>. Va evidenziato che la stazione di APPA ricade in un contesto urbano, così come la stazione per le due sessioni di campionamento svoltesi tra settembre e novembre 2021 in corso Bettini a Rovereto, mentre le precedenti campagne di rilievo estive sono avvenute nel contesto di una frazione come è quella di Marco.

Più precisamente il laboratorio mobile comunale ha lavorato in via Vecchio Alveo a Marco, in una zona poco distante dalla scuola elementare (Figg. 14 e 15), dal 23 giugno all'8 luglio e poi dal 29 luglio al 13 agosto 2021. Mentre nei periodi che vanno dal 16 settembre al primo ottobre e poi dal 9 fino al 23 novembre ha stazionato in corso Bettini nel punto in cui questo si incontra con viale San Francesco e viale Trento (Figg. 16 e 17). In generale il confronto dei dati raccolti dalla Fondazione MCR a Rovereto e a Marco con i dati di APPA di via Manzoni (riferiti però alle sole PM10) ha mostrato buona concordanza nel trend, con i valori di concentrazione raccolti dalla Fondazione MCR quasi sistematicamente e prevedibilmente superiori, trattandosi di misure di polveri totali e non solamente delle PM10 (come per APPA) che sono una frazione delle TSP⁸. In generale esiste una dipendenza dalle condizioni meteorologiche, date non solo dalla pioggia ma anche dalla direzione e velocità del vento, e dalla pressione.

Gli eventi meteorici che si sono susseguiti nel corso dei giorni di monitoraggio si sono ripercossi nella concentrazione delle polveri atmosferiche determinandone una sensibile diminuzione, soprattutto quando si sono registrate precipitazioni piovose intense.

Di seguito l'andamento grafico (Figg. 12-17) delle concentrazioni di particolato rilevate nelle quattro sessioni di misura (espresso in microgrammi di polveri per metro cubo di aria) in relazione con gli eventi meteorici⁹.

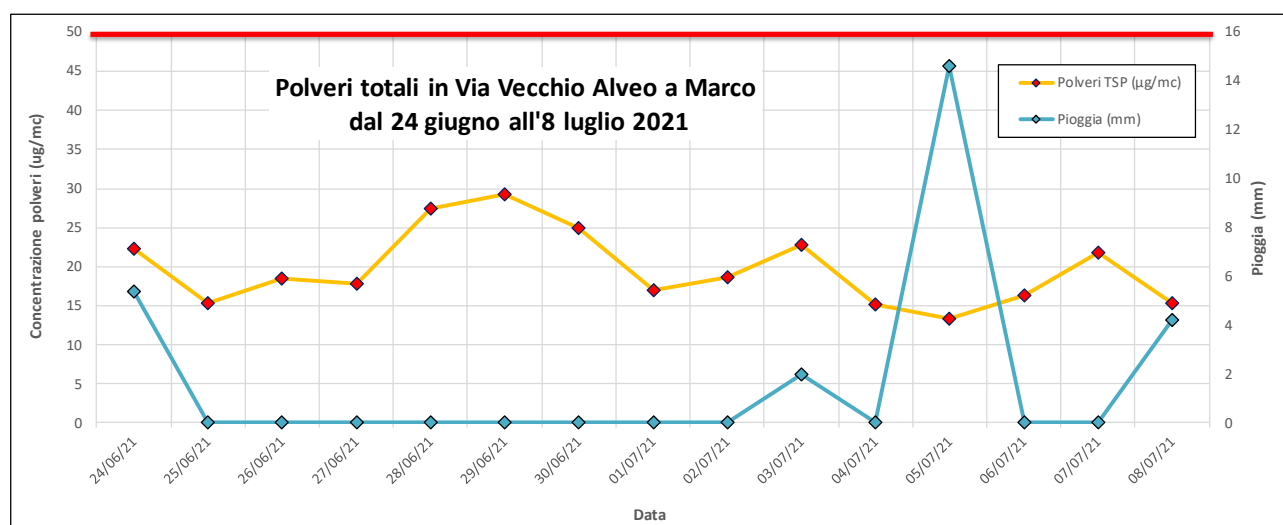


Fig. 14. Grafico delle rilevazioni giornaliere delle polveri totali (TSP) effettuate dalla strumentazione del Comune di Rovereto in via Vecchio Alveo a Marco a confronto con l'andamento della piovosità espressa in mm tra il 24 giugno e l'8 luglio 2021. La linea rossa in alto indica la concentrazione di PM10 da non superare secondo la normativa (D.Lgs. 155/2010) sulle 24 h di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la protezione della salute umana. Le quantità di PM10 potrebbero essere mediamente del 50% in meno (secondo l'EPA) di quanto riportato nel grafico che è riferito invece alle sole TSP.

⁸ Secondo l'EPA (United States Environmental Protection Agency) le PM10 in media rappresentano circa il 50% delle polveri totali (TSP), anche se questo rapporto può variare molto giornalmente e a seconda del contesto indagato, potendo arrivare a valori sensibilmente superiori o minori al 50%.

"Network design and optimum site exposure criteria for particulate matter" EPA May 1987.

⁹ Dati stazione T0147 di Rovereto tratti dal sito di Meteotrentino al link: <http://storico.meteotrentino.it/web.htm>

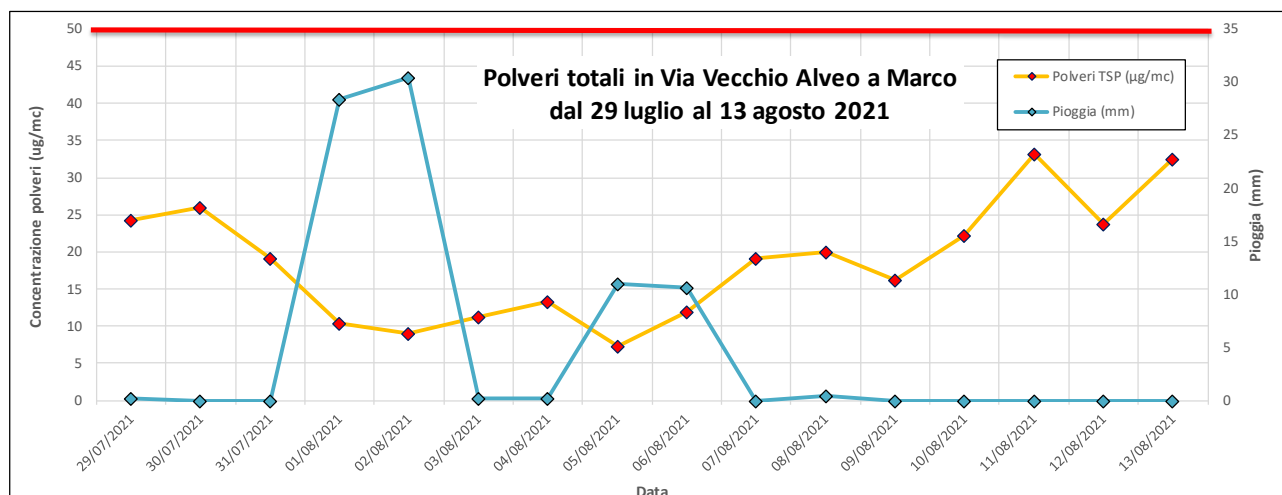


Fig. 15. Grafico delle rilevazioni giornaliere delle polveri totali ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) effettuate dalla strumentazione del Comune di Rovereto in via Vecchio Alveo a Marco a confronto con l'andamento della piovosità espressa in mm tra il 29 luglio e il 13 agosto 2021. La linea rossa in alto indica la concentrazione di PM10 da non superare secondo la normativa (D.Lgs. 155/2010) sulle 24 h di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la protezione della salute umana. Le quantità di PM10 potrebbero essere mediamente del 50% in meno (secondo l'EPA) di quanto riportato nel grafico che è riferito invece alle sole TSP.

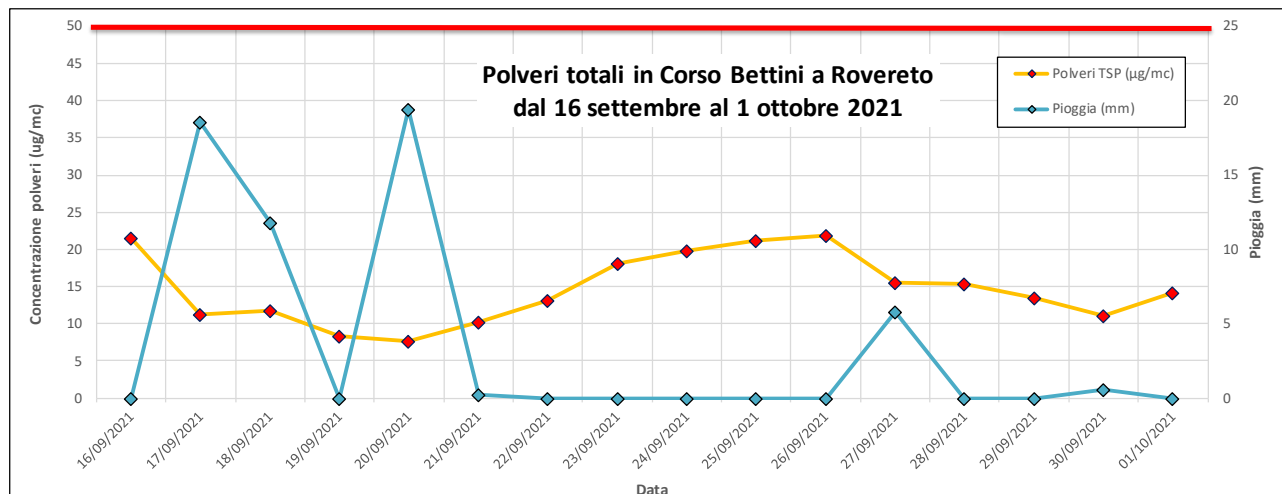


Fig. 16. Grafico delle rilevazioni giornaliere delle polveri totali ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) effettuate dalla strumentazione del Comune di Rovereto in corso Bettini a Rovereto a confronto con l'andamento della piovosità espressa in mm tra il 16 settembre e il 1 ottobre 2021. La linea rossa in alto indica la concentrazione di PM10 da non superare secondo la normativa (D.Lgs. 155/2010) sulle 24 h di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la protezione della salute umana. Le quantità di PM10 potrebbero essere mediamente del 50% in meno (secondo l'EPA) di quanto riportato nel grafico che è riferito invece alle sole TSP.

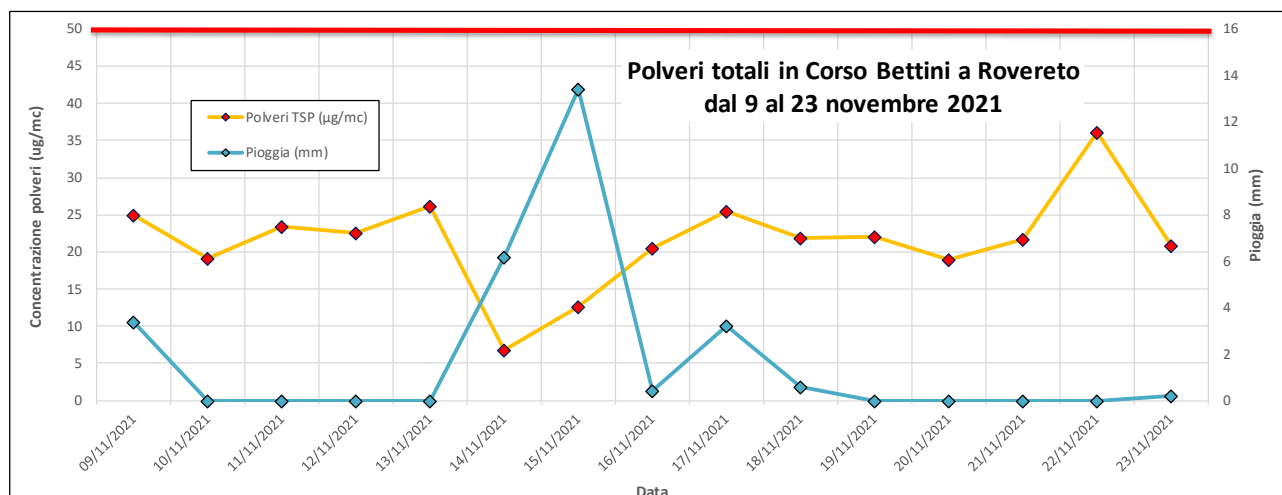


Fig. 17. Grafico delle rilevazioni giornaliere delle polveri totali ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) effettuate dalla strumentazione del Comune di Rovereto in corso Bettini a Rovereto a confronto con l'andamento della piovosità espressa in mm tra il 9 e il 23 novembre 2021. La linea rossa in alto indica la concentrazione di PM10 da non superare secondo la normativa (D.Lgs. 155/2010) sulle 24 h di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la protezione della salute umana. Le quantità di PM10 potrebbero essere mediamente del 50% in meno (secondo l'EPA) di quanto riportato nel grafico che è riferito invece alle sole TSP.

Il valore giornaliero medio di polveri totali, rilevato nelle due settimane di controllo a Marco tra giugno e luglio, è stato di $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e in quelle tra luglio e agosto di $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A Rovereto invece nelle due settimane tra settembre e ottobre il valore medio giornaliero è stato di $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre a novembre di $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Si ricorda che la Norma (D.Lgs. 155/2010) indica $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sulle 24 h¹⁰, e $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come valore medio annuo, come limiti da non superare per la frazione delle PM10 per la protezione della salute umana. Il campionamento eseguito dal laboratorio della Fondazione MCR ha invece riguardato il totale delle polveri atmosferiche (TSP) e questo significa che il valore delle PM10 sarà stato, ovviamente, ancora minore rispetto ai valori sopra riportati, forse attorno al 50% in meno. Questo significa che, nelle zone indagate, per i periodi indicati, la qualità dell'aria, in termini di polveri sottili, era ampiamente all'interno dei valori normativi.

Un dato interessante è anche la notevole similarità, anche se con valori assoluti solitamente diversi, nell'andamento delle concentrazioni di polveri nell'aria in periodi di tempo uguali tra stazioni di rilevamento dislocate in luoghi diversi sul territorio.

Tale similarità la si riscontra un po' su tutto il territorio provinciale come indicato dall'Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente¹¹:

"Le condizioni più favorevoli al permanere di situazioni di inquinamento da polveri si manifestano soprattutto nella stagione invernale, in presenza di particolari condizioni meteorologiche (alta pressione, elevata stabilità atmosferica, prolungata inversione termica, assenza di precipitazioni). A causa del perdurare di queste situazioni, si possono riscontrare elevati livelli di PM₁₀ nell'aria non solo nelle grandi città, ma anche a notevoli distanze dalle sorgenti principali. Per effetto della loro elevata volatilità, la distribuzione dell'inquinante sul territorio risulta spesso pressoché omogenea anche in territori orograficamente complessi come quello della Provincia di Trento".

¹⁰ Da non superarsi per più di 35 volte in un anno.

¹¹ http://www.appa.provincia.tn.it/aria/qualita_aria_sezione/documentazione_divulgativa_aria/-Inquinanti_principali/pagina27.html

Il comune di Rovereto non fa eccezione, eseguendo infatti un confronto tra le misure effettuate dalla centralina di rilevamento di APPA dislocata in via Manzoni¹² con quelle effettuate dal laboratorio mobile comunale posizionato prima in via Vecchio Alveo a Marco e poi in corso Bettini a Rovereto, si mette in evidenza come le concentrazioni giornaliere delle polveri seguano un trend molto simile tra loro (Figg. 18-21). Al netto dell'osservazione già più volte citata del fatto che la centralina di APPA, in via Manzoni, esegue il campionamento delle PM10, mentre il laboratorio mobile comunale quello delle TSP, e al netto dell'osservazione che il periodo di confronto si limita ad un totale di circa due mesi, è comunque possibile fare un paragone tra le misurazioni effettuate per avere una visione della distribuzione e dell'andamento nel tempo delle polveri entro i limiti comunali. Attraverso questo raffronto è possibile evidenziare come le quantità di particolato sospeso nell'aria abbiano un andamento molto simile, non solo nel confronto tra le stazioni roveretane di via Manzoni e corso Bettini che distano tra loro in linea d'aria poco più di 500 metri, ma anche nel paragone tra quella nel centro urbano di via Manzoni e quella di una piccola frazione come è quella di Marco, dove invece la distanza supera i 6 Km.

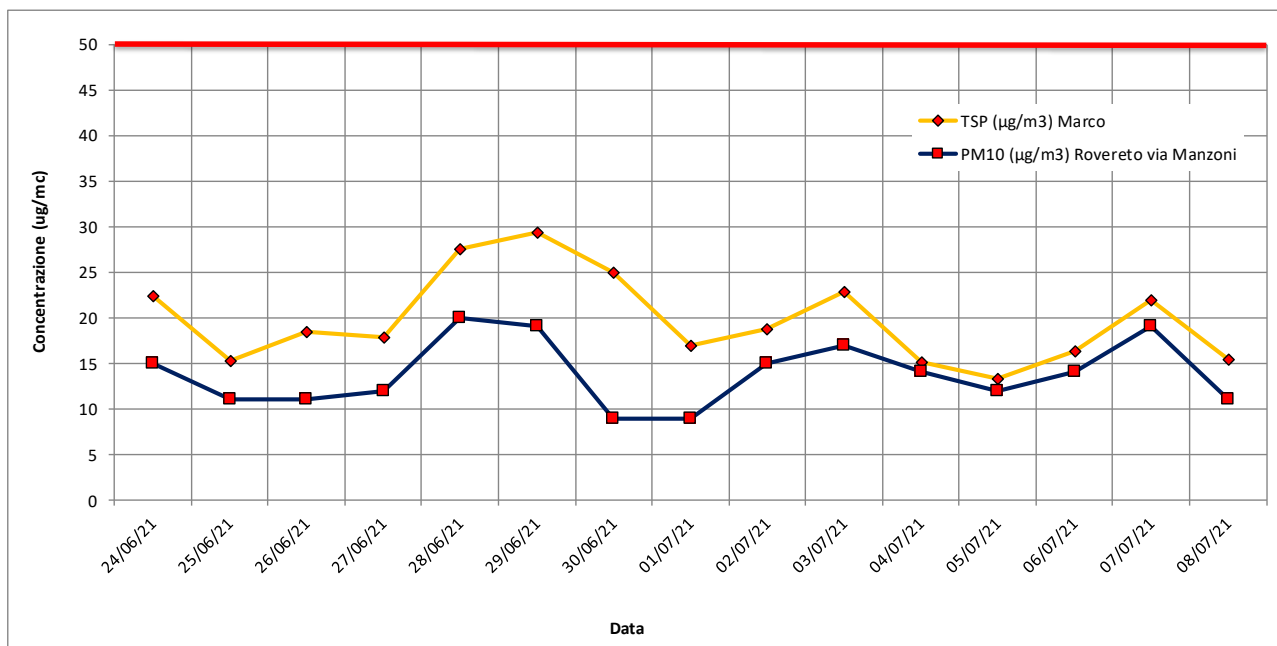


Fig. 18. Grafico delle rilevazioni giornaliere delle polveri totali (TSP) effettuate dalla strumentazione del Comune di Rovereto in via Vecchio Alveo a Marco e delle rilevazioni di PM10 eseguite dalla centralina di APPA in via Manzoni tra il 24 giugno e l'8 luglio 2021. La linea rossa in alto indica la concentrazione di PM10 da non superare secondo la normativa (D.Lgs. 155/2010) sulle 24 h di 50 µg/m³ per la protezione della salute umana. Le quantità di PM10 a Marco potrebbero essere mediamente del 50% in meno (secondo l'EPA) di quanto riportato nel grafico che è riferito alle sole TSP.

¹² Dati stazione di via Manzoni a Rovereto tratti dal sito di APPA al link: <https://bollettino.appa.tn.it/aria/>

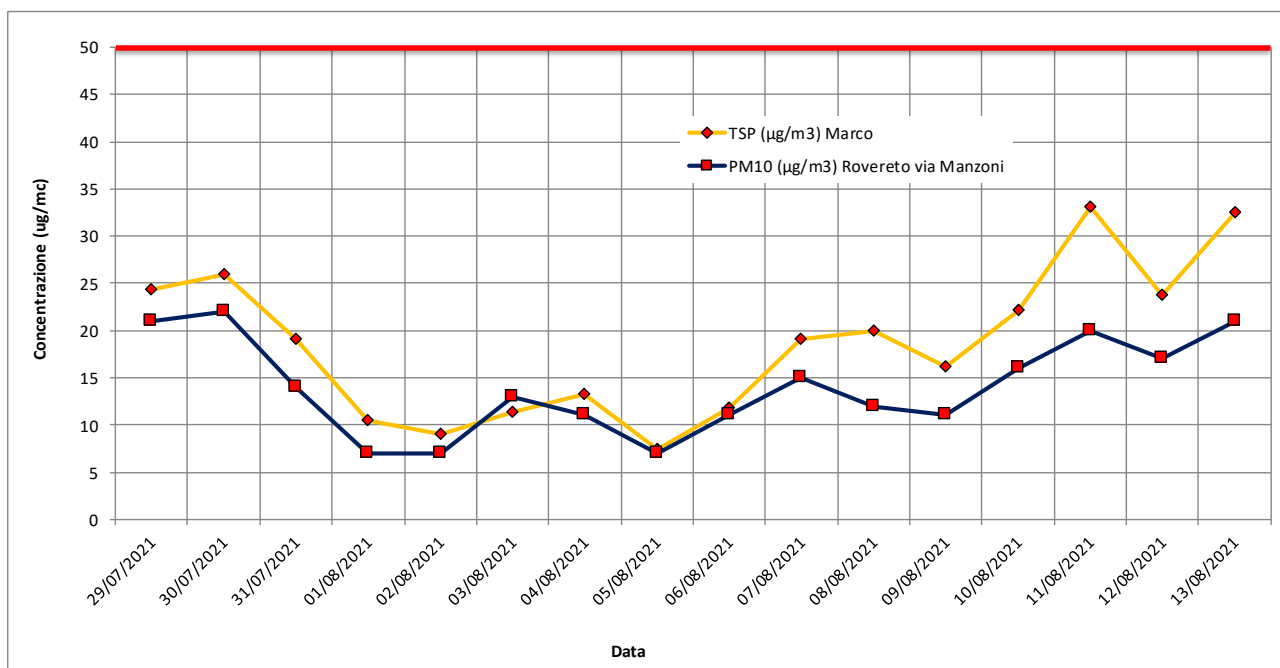


Fig. 19. Grafico delle rilevazioni giornaliere delle polveri totali (TSP) effettuate dalla strumentazione del Comune di Rovereto in via Vecchio Alveo a Marco e delle rilevazioni di PM10 eseguite dalla centralina di APPA in via Manzoni tra il 29 luglio e il 13 agosto 2021. La linea rossa in alto indica la concentrazione di PM10 da non superare secondo la normativa (D.Lgs. 155/2010) sulle 24 h di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la protezione della salute umana. Le quantità di PM10 a Marco potrebbero essere mediamente del 50% in meno (secondo l'EPA) di quanto riportato nel grafico che è riferito alle sole TSP.

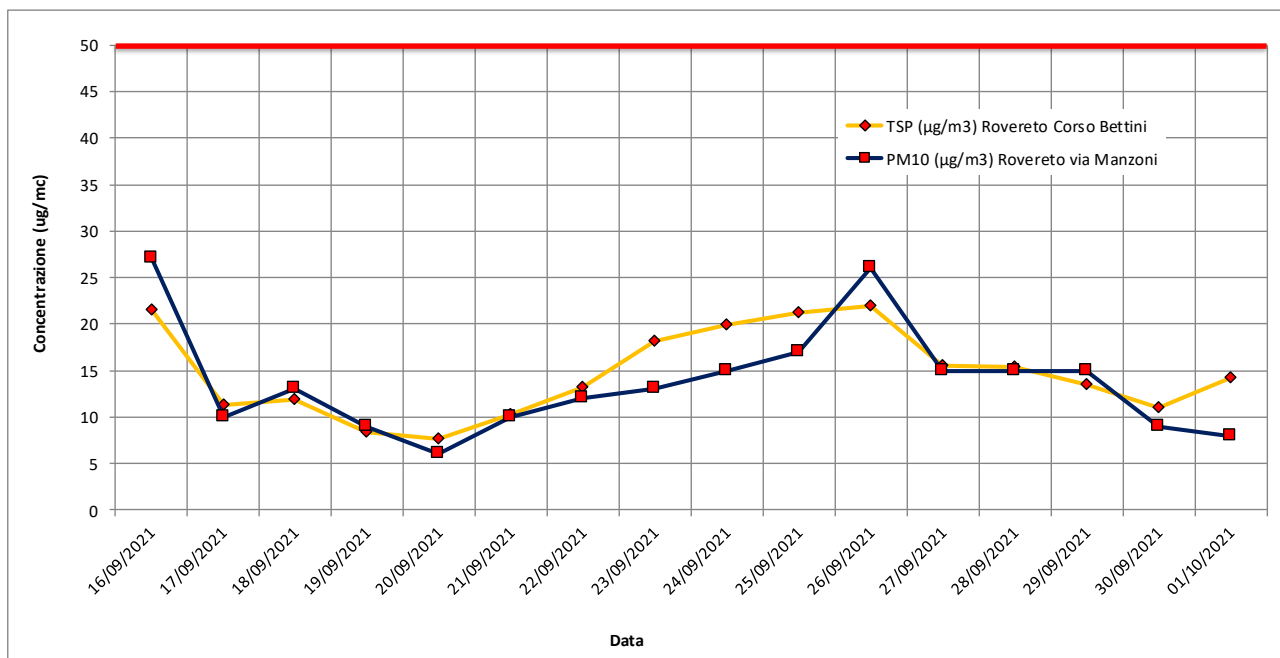


Fig. 20. Grafico delle rilevazioni giornaliere delle polveri totali (TSP) effettuate dalla strumentazione del Comune di Rovereto in corso Bettini e delle rilevazioni di PM10 eseguite dalla centralina di APPA in via Manzoni tra il 16 settembre e il 1 ottobre 2021. La linea rossa in alto indica la concentrazione di PM10 da non superare secondo la normativa (D.Lgs. 155/2010) sulle 24 h di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la protezione della salute umana. Le quantità di PM10 in corso Bettini potrebbero essere mediamente del 50% in meno (secondo l'EPA) di quanto riportato nel grafico che è riferito alle sole TSP.

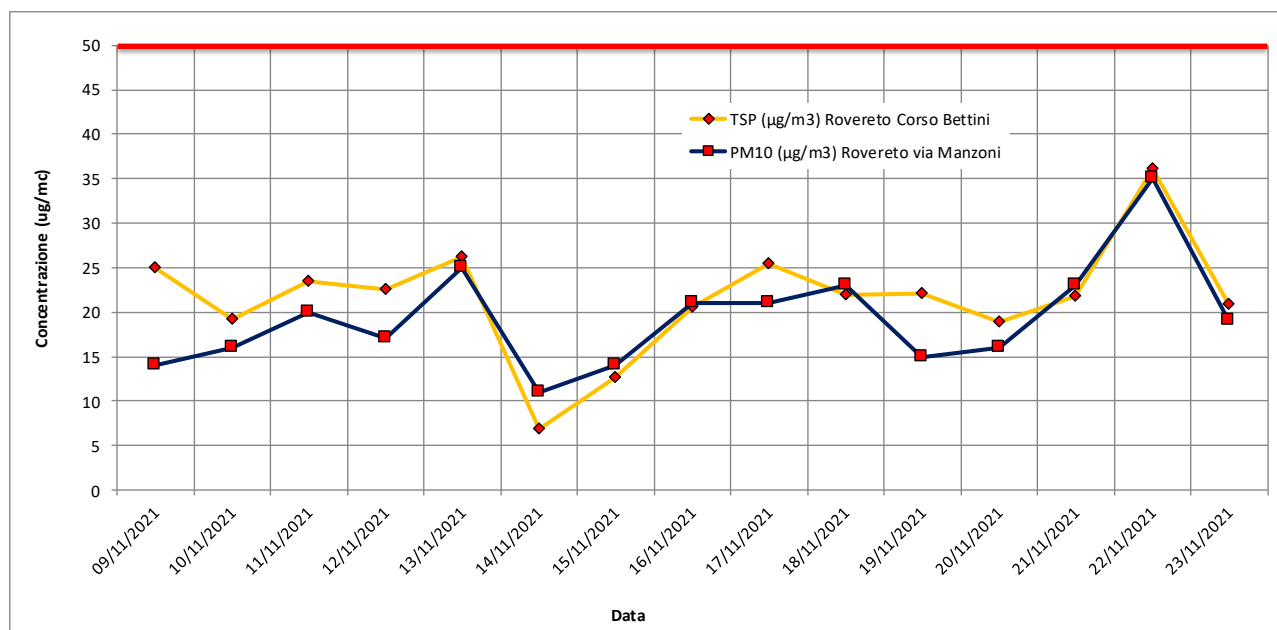


Fig. 21. Grafico delle rilevazioni giornaliere delle polveri totali (TSP) effettuate dalla strumentazione del Comune di Rovereto in corso Bettini e delle rilevazioni di PM10 eseguite dalla centralina di APPA in via Manzoni tra il 9 e il 23 novembre 2021. La linea rossa in alto indica la concentrazione di PM10 da non superare secondo la normativa (D.Lgs. 155/2010) sulle 24 h di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per la protezione della salute umana. Le quantità di PM10 in corso Bettini potrebbero essere mediamente del 50% in meno (secondo l'EPA) di quanto riportato nel grafico che è riferito alle sole TSP.

Rilevazione dei metalli pesanti

In relazione ai vari campionamenti effettuati nel corso del 2021, oltre alla determinazione della concentrazione del particolato totale (TSP) si sono eseguite per mezzo del laboratorio di Dolomiti Energia Holding S.p.A., anche analisi chimiche sui campioni di polveri raccolti a Marco¹³ e su corso Bettini a Rovereto, per una selezione di metalli pesanti potenzialmente dannosi per la salute o per l'ambiente (ecotossici). Si tratta degli stessi considerati per le analisi sui talli lichenici, vale a dire: Alluminio, Al; Arsenico, As; Cadmio, Cd; Cromo, Cr; Ferro, Fe; Manganese, Mn; Mercurio, Hg; Nichel, Ni; Piombo, Pb; Rame, Cu; Vanadio, V e Zinco, Zn. I relativi valori vengono normalmente espressi in microgrammi su metrocubo (Al, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, V, Zn) e in nanogrammi su metrocubo (As, Cd, Ni, Hg). Si è osservata anche in questo caso una certa dipendenza dalle condizioni meteorologiche, in particolare dalla piovosità giornaliera, anche se con risposte differenti da un elemento all'altro (Figg. 22-33). Guardando in particolare ai valori di riferimento indicati nelle "Air Quality Guidelines" dell'Organizzazione Mondiale per la Sanità (OMS) e posto che si dispone di misure di confronto dal 2018 in poi di una serie multitemporale in costruzione, si può osservare come, in generale, i valori di concentrazione giornalieri dei vari metalli pesanti presenti nell'aria siano

¹³ Delle due campagne di campionamento di Marco la determinazione delle concentrazioni di metalli pesanti è stata eseguita solo per quella che si è svolta tra il 24 giugno e l'8 luglio 2021.

solitamente ampiamente al di sotto dei valori limite di concentrazione media annua raccomandati dall'OMS per la protezione della salute umana¹⁴. Fa eccezione il valore del nichel che, solo per la giornata del 3 luglio a Marco, va invece ben al di sopra di tale limite anche se, il dato medio delle due settimane di campionamento di questo metallo pesante va a riportare la concentrazione entro il range tipico delle aree urbane. Nella stessa giornata anche la concentrazione nell'aria di cromo risulta essere stata piuttosto elevata ed è da notare che pure il 2 ottobre dell'anno 2020, a Marco, anche se in maniera meno marcata, si era verificata una situazione simile, con uno scostamento abbastanza pronunciato, rispetto alla media del periodo monitorato, della concentrazione sia del cromo che del nichel.

In tutti e tre gli intervalli temporali monitorati, i valori medi di concentrazione di vanadio (Figg. 28-30) rientrano nell'intervallo di misure che sarebbero tipici di aree remote (secondo l'OMS 0-0,003 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e a Marco, il dato giornaliero era spesso così basso da finire al di sotto della soglia di rilevabilità dello strumento. I valori medi del cromo a Rovereto sono anch'essi molto bassi, tanto da far rientrare anche questi in un range che sarebbe tipico di aree remote (secondo l'OMS 0-0,003 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), mentre come già detto, per Marco, essendoci misure sensibilmente superiori, si andrebbe nello standard delle aree urbane (0,004-0,07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Anche i valori medi di manganese e piombo (Figg. 25-27), nei due siti di campionamento, sempre rispetto alle medesime linee guida, sono decisamente inferiori al valore di riferimento avendo concentrazioni che sarebbero più caratteristiche di zone remote (secondo l'OMS: Mn 0,01-0,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Pb fino a 0,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Da notare che manganese e ferro presentano una buona correlazione lineare, come atteso, in virtù del loro uso spesso congiunto nelle attività industriali. Rame e zinco secondo i dati dell'agenzia americana ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) sarebbero anch'essi in quantità tipiche per l'aria ambiente con valori abbastanza bassi che, per lo zinco, solo a Marco, sarebbero anche al di sotto delle medie standard dei centri urbani (ossia al di sotto di 0,02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Ugualmente arsenico e cadmio (Figg. 31-33), si presentano con quantità ben lontane dai limiti delle linee guida dell'OMS con valori di concentrazione nell'aria molto scarsi che sarebbero più tipici di zone remote in tutti e due i siti monitorati. Per quanto riguarda il nichel invece, solo a Rovereto i dati rientrerebbero nel range delle aree remote, mentre a Marco, come accennato in precedenza, il peso della misura effettuata per la giornata del 3 luglio 2021, porta ad una media nelle due settimane di misura, che sarebbe nell'intervallo dei valori tipici delle zone urbane¹⁵.

Le misure riferite al mercurio sono piuttosto scarse a Marco con concentrazioni simili a quelle che si avrebbero in aree remote. Sono ancora abbastanza contenute nella campagna di monitoraggio di novembre a Rovereto, con valori che potrebbero essere tipici sia di aree remote che di quelle urbane. Sono invece un po' più elevate nella campagna roveretana di settembre-ottobre con un valore medio che però potrebbe rientrare nel range di tutti e tre i contesti di riferimento, ossia aree remote, urbane

¹⁴ I dati dell'OMS a cui si fa riferimento sono tutti ascrivibili a medie annuali, mentre le misure effettuate dal campionario di polveri del comune di Rovereto sono raccolte in circa due settimane di monitoraggio per ogni campagna (tre campagne in tutto). Quindi si ha una visione piuttosto parziale dei fenomeni in studio che però può essere comunque indicativa della situazione.

¹⁵ Il dato della sola giornata del 3 luglio sarebbe paragonabile a quello nei valori tipici di concentrazione (però medi annui) delle aree industriali.

o industriali e comunque sempre con quantità molto inferiori a quelle che potrebbero determinare un danno per la salute umana.

Di seguito i risultati delle analisi, affidate al Laboratorio di Dolomiti Energia Holding S.p.A., raffigurati per tramite di 12 grafici di sintesi con rappresentato, inoltre, l'andamento della piovosità giornaliera (Figg. 22-33). Quando sui grafici alcune delle barre che indicano la concentrazione dei vari metalli pesanti non sono presenti, significa che i valori di concentrazione erano talmente bassi che la strumentazione di analisi non è stata in grado di rilevarne la quantità.

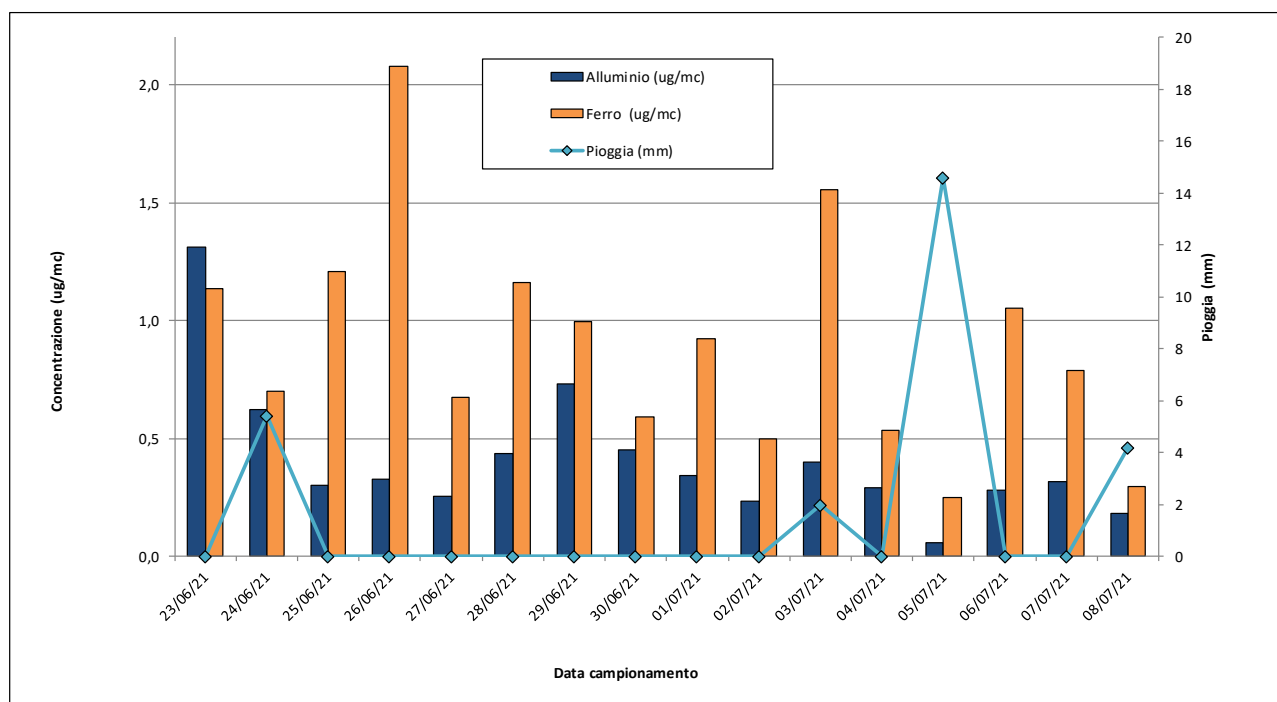


Fig. 22. Via Alveo Vecchio a Marco (TN). Grafico delle concentrazioni giornaliere di Al e Fe, espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a confronto con l'andamento della piovosità espressa in mm tra giugno e luglio 2021.

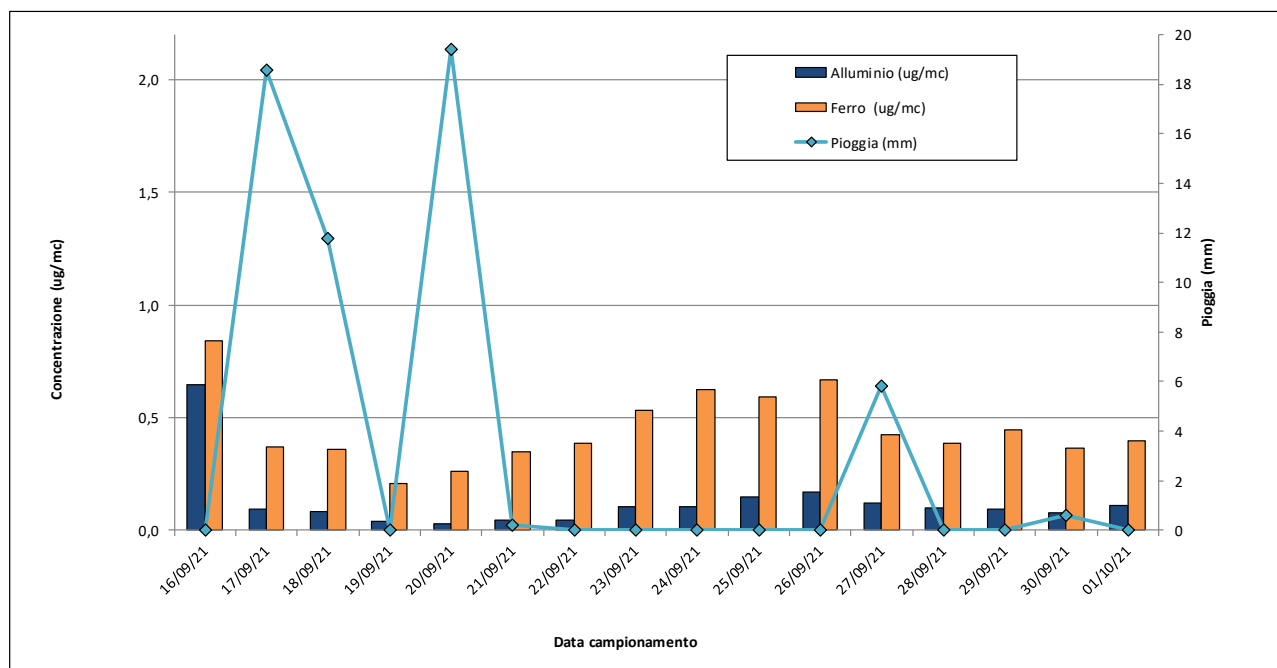


Fig. 23. Corso Bettini a Rovereto (TN). Grafico delle concentrazioni giornaliere di Al e Fe, espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a confronto con l'andamento della piovosità espressa in mm tra settembre e ottobre 2021.

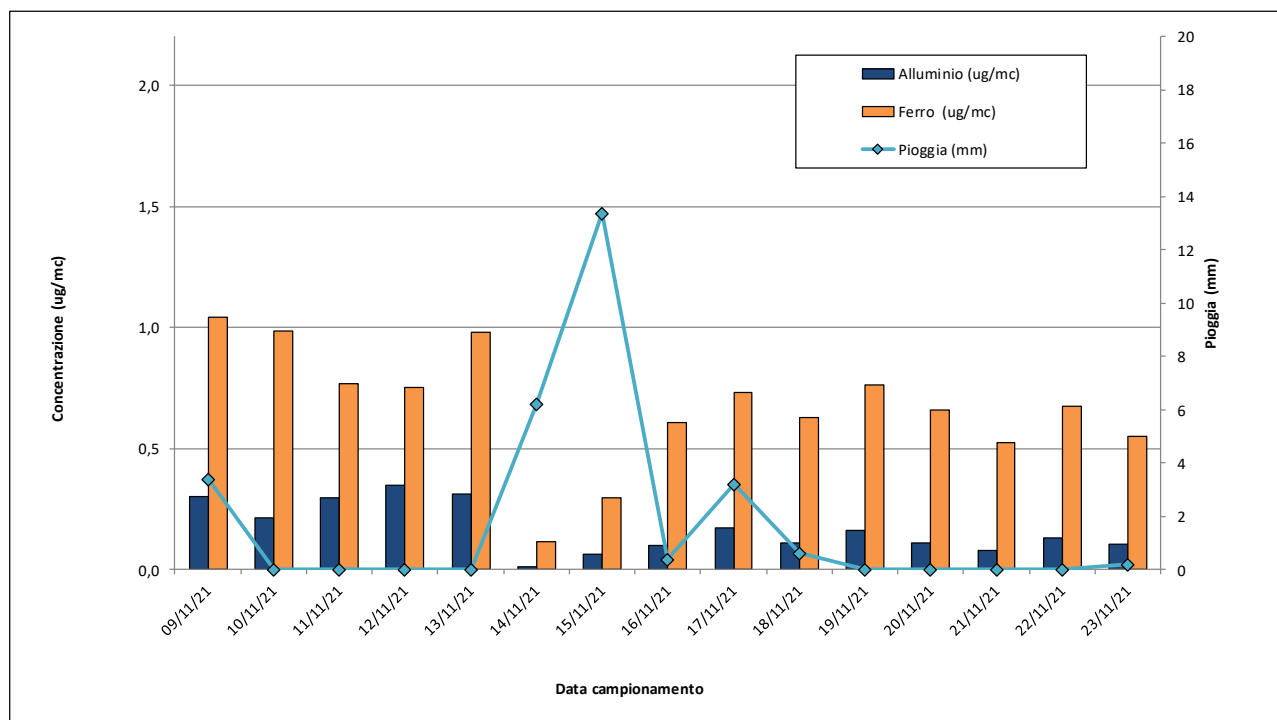


Fig. 24. Corso Bettini a Rovereto (TN). Grafico delle concentrazioni giornaliere di Al e Fe, espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a confronto con l'andamento della piovosità espressa in mm a novembre 2021.

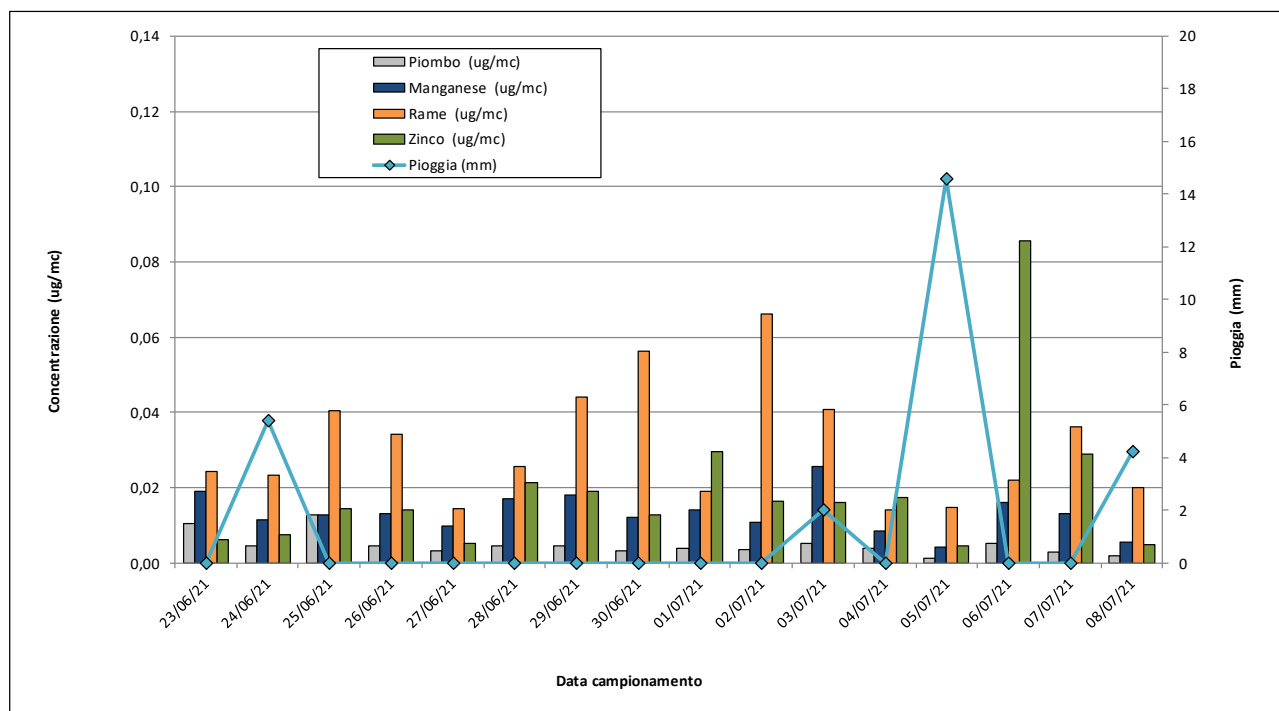


Fig. 25. Via Alveo Vecchio a Marco (TN). Grafico delle concentrazioni giornaliere di Pb, Mn, Cu, Zn in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a confronto con l'andamento della piovosità espressa in mm tra giugno e luglio 2021.

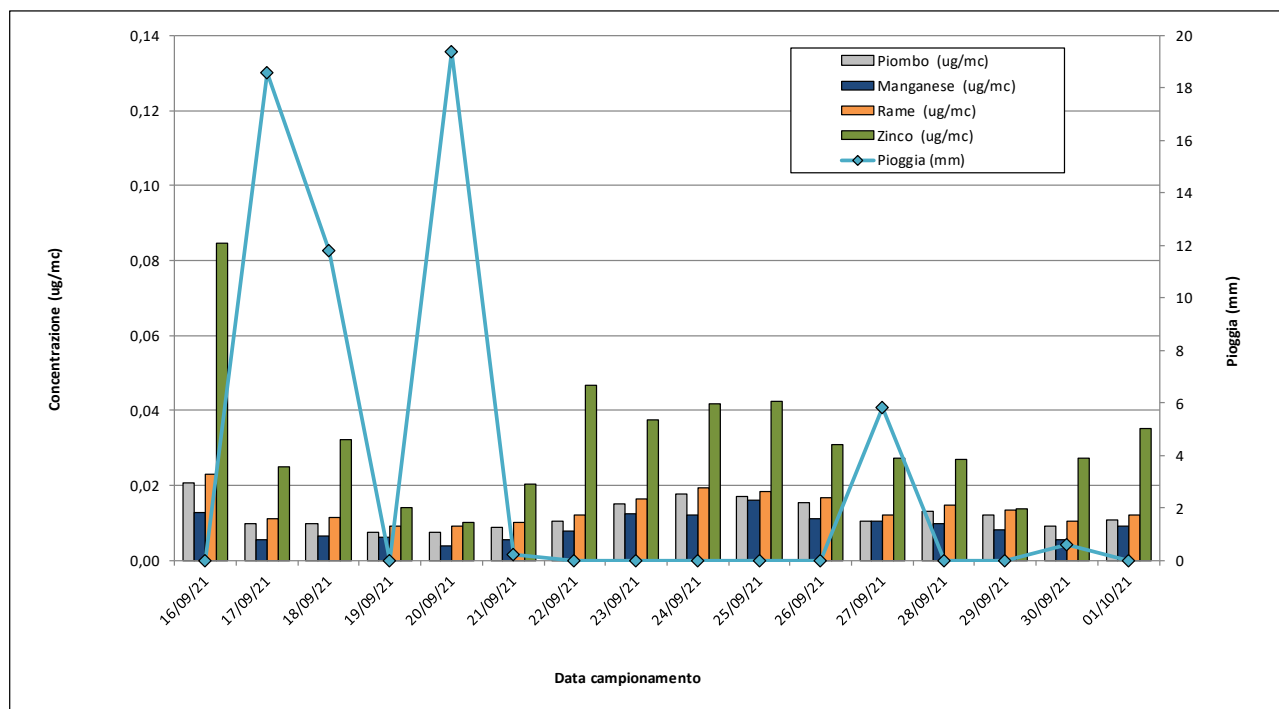


Fig. 26. Corso Bettini a Rovereto (TN). Grafico delle concentrazioni giornaliere di Pb, Mn, Cu, Zn in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a confronto con l'andamento della piovosità espressa in mm tra settembre e ottobre 2021.

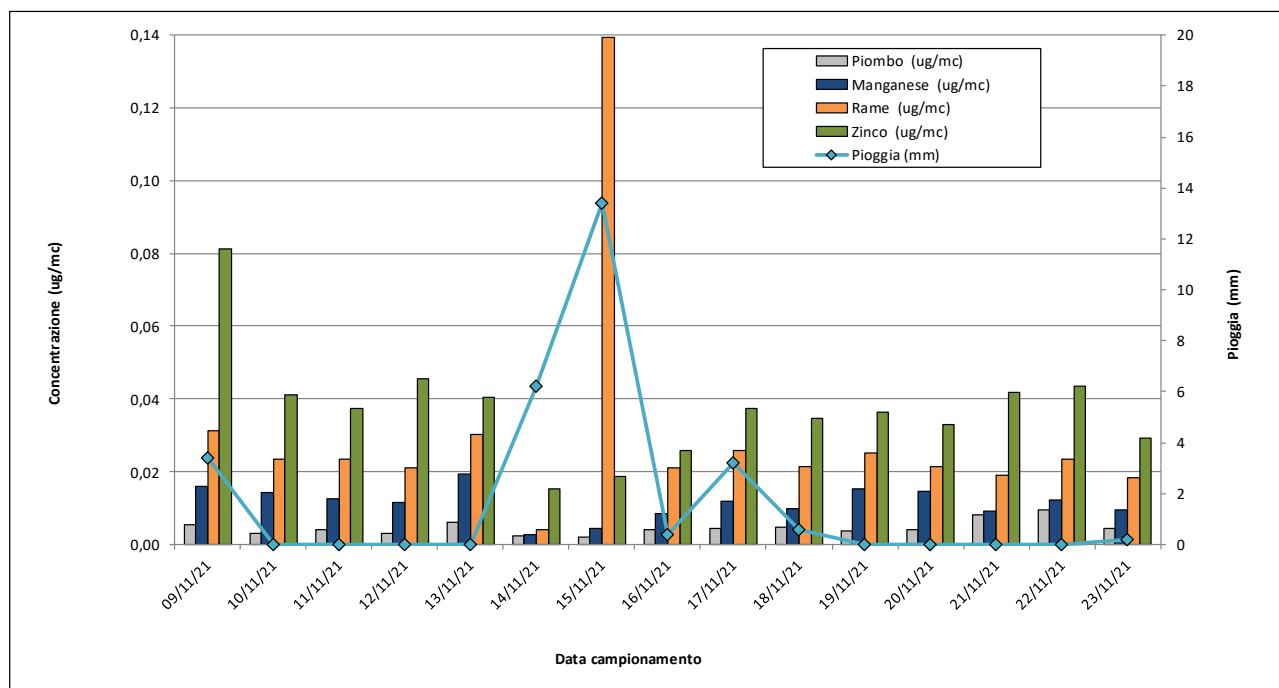


Fig. 27. Corso Bettini a Rovereto (TN). Grafico delle concentrazioni giornaliere di Pb, Mn, Cu, Zn in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a confronto con l'andamento della piovosità espressa in mm a novembre 2021.

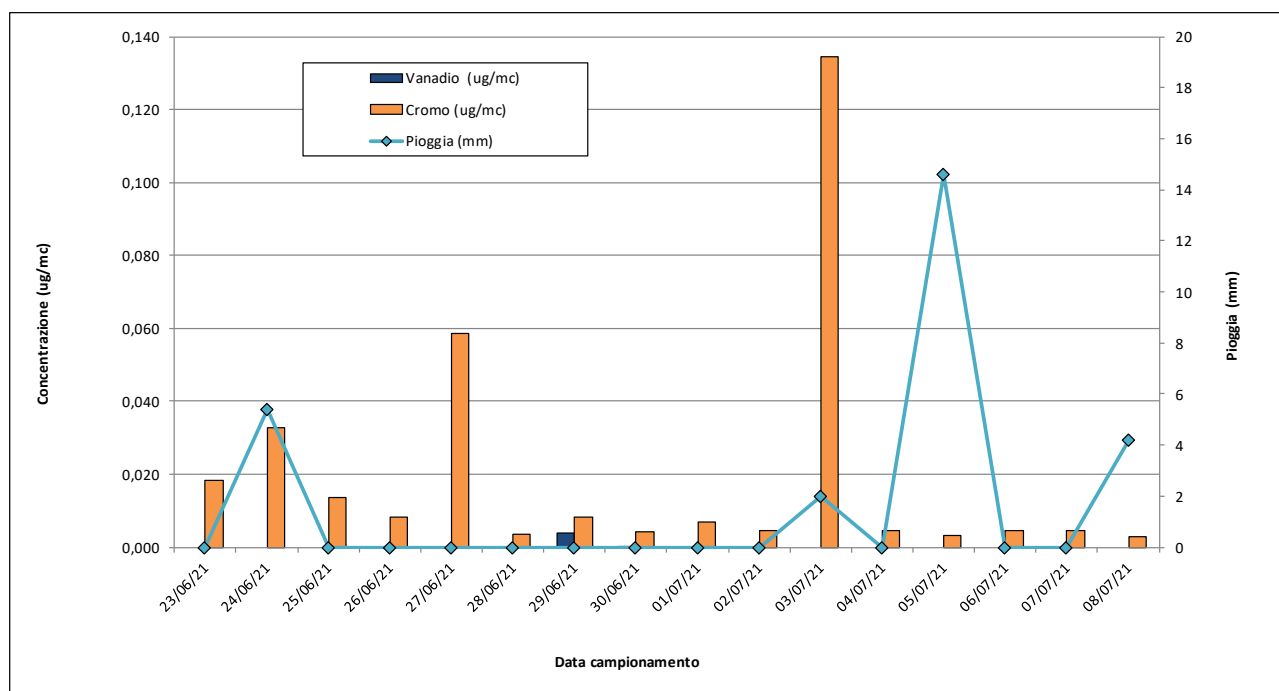


Fig. 28. Via Alveo Vecchio a Marco (TN). Grafico delle concentrazioni giornaliere di Cr e V in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a confronto con l'andamento della piovosità espressa in mm tra giugno e luglio 2021.

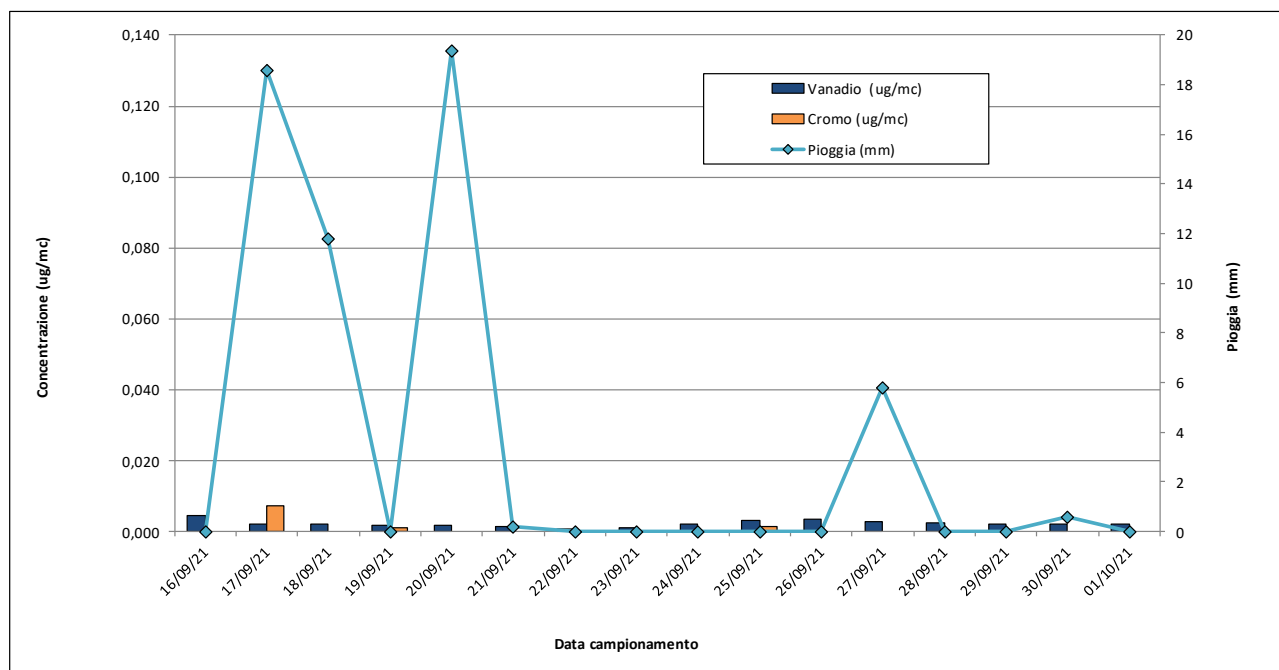


Fig. 29. Corso Bettini a Rovereto (TN). Grafico delle concentrazioni giornaliere di Cr e V in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a confronto con l'andamento della piovosità espressa in mm tra settembre e ottobre 2021.

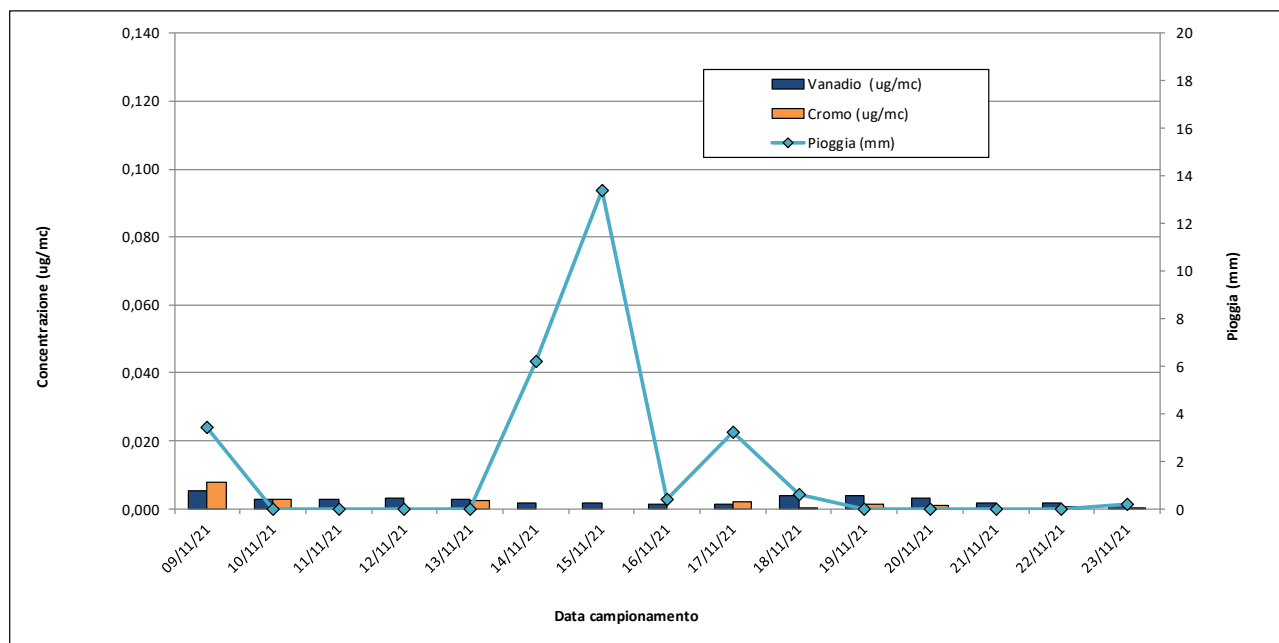


Fig. 30. Corso Bettini a Rovereto (TN). Grafico delle concentrazioni giornaliere di Cr e V in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a confronto con l'andamento della piovosità espressa in mm novembre 2021.

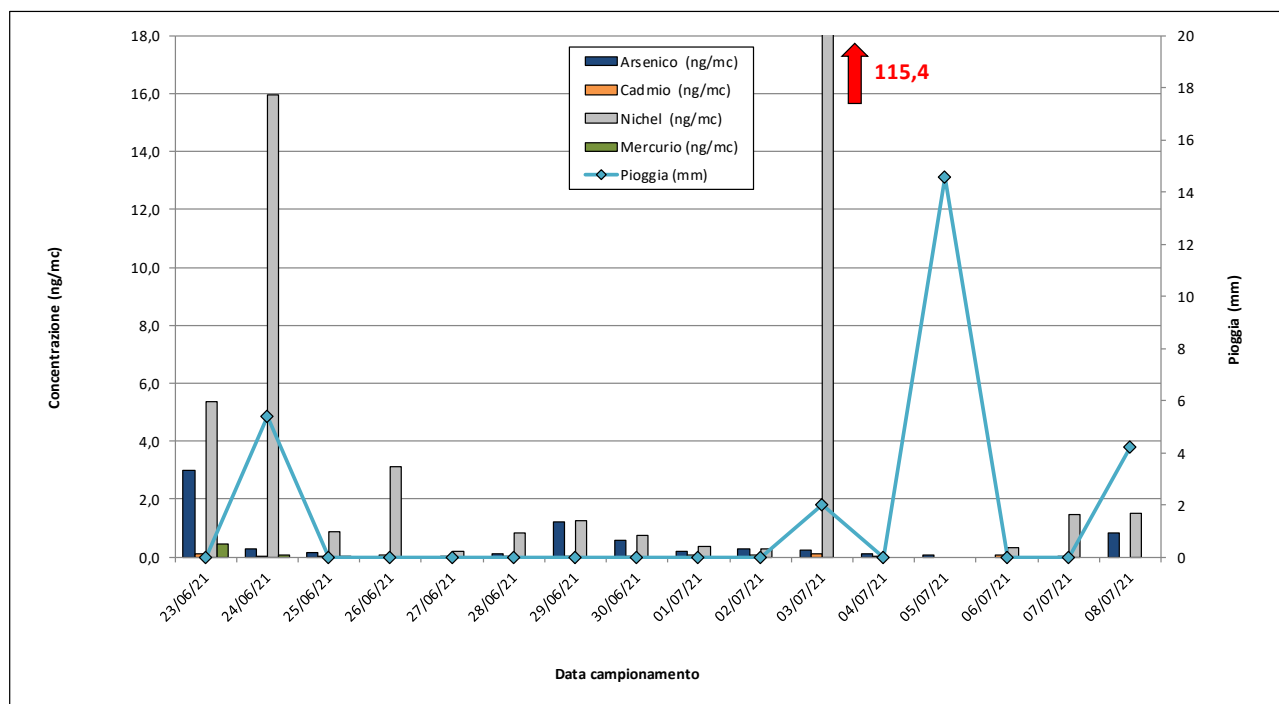


Fig. 31. Via Alveo Vecchio a Marco (TN). Grafico delle concentrazioni giornaliere di As, Cd, Ni e Hg in ng/m³, a confronto con l'andamento della piovosità espressa in mm tra giugno e luglio 2021.

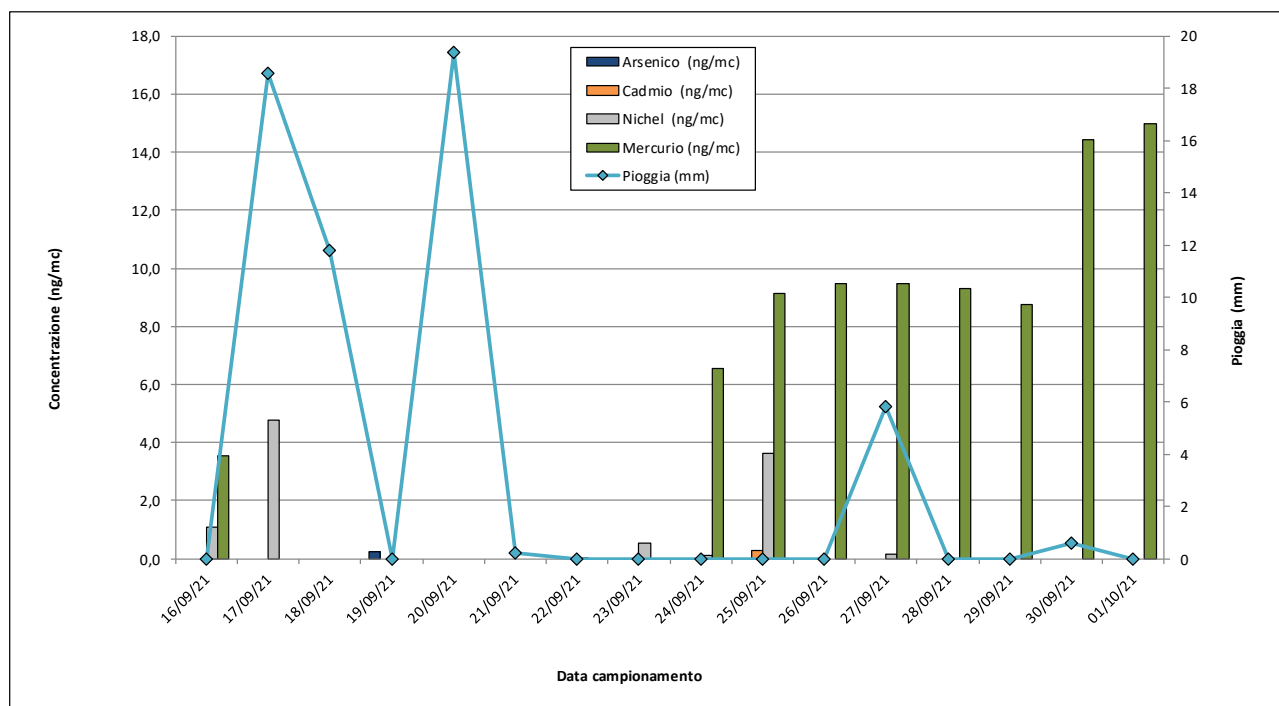


Fig. 32. Corso Bettini a Rovereto (TN). Grafico delle concentrazioni giornaliere di As, Cd, Ni e Hg in ng/m³, a confronto con l'andamento della piovosità espressa in mm tra settembre e ottobre 2021.

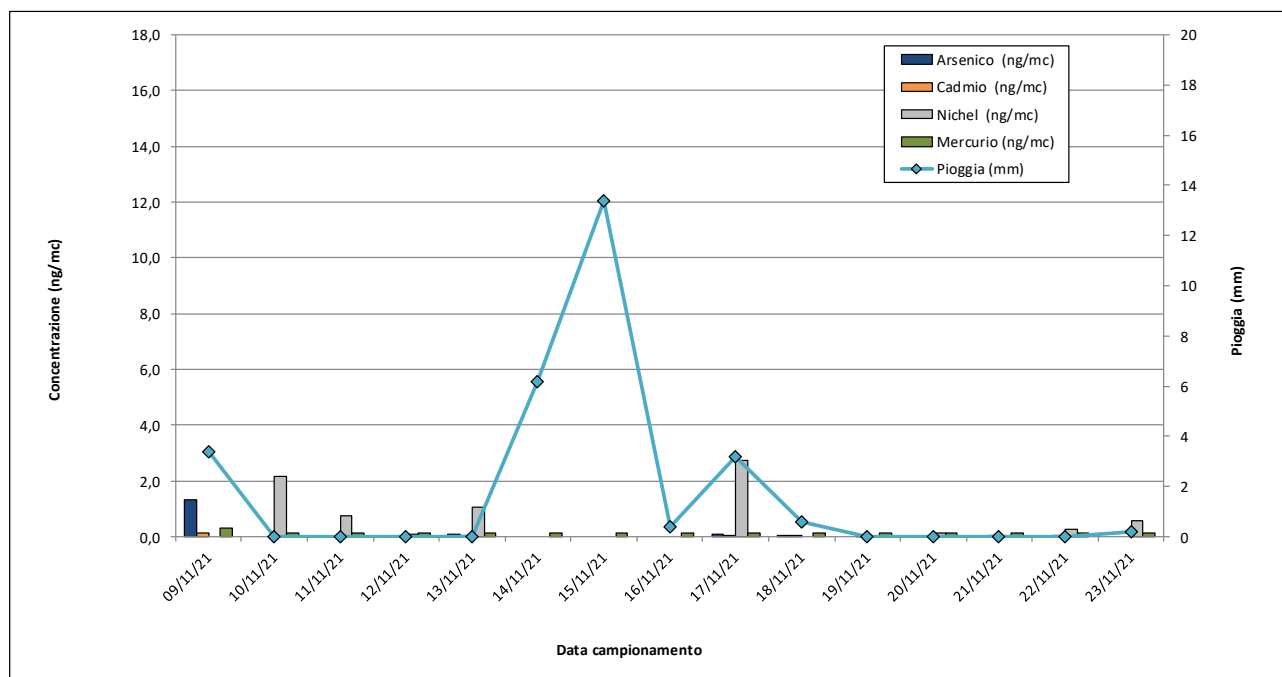


Fig. 33. Corso Bettini a Rovereto (TN). Grafico delle concentrazioni giornaliere di As, Cd, Ni e Hg in ng/m³, a confronto con l'andamento della piovosità espressa in mm a novembre 2021.

Da notare la generale tendenza alla diminuzione delle concentrazioni dei metalli pesanti presenti in sospensione in concomitanza con le precipitazioni atmosferiche.

2.3 Monitoraggio della prima falda

Dal 2004 l'andamento della tavola d'acqua della falda freatica della zona industriale di Rovereto è monitorato dal Museo Civico per tramite di rilevazioni mensili su una serie di pozzi, una decina, individuati in proprietà sia privata che pubblica. Alcuni di questi sono divenuti nel tempo non più utilizzabili a causa, ad esempio, del loro ricoprimento a seguito di nuove opere di infrastrutturazione del territorio; è questo il caso dei due piezometri intercettati dalla bretella "Ai Fiori". La posizione dei punti usati per il controllo della falda è consultabile on line nel sito EMAS selezionando il relativo layer nella piattaforma WebGis (Fig. 34) dove è anche indicato se il pozzo è attivo o meno.

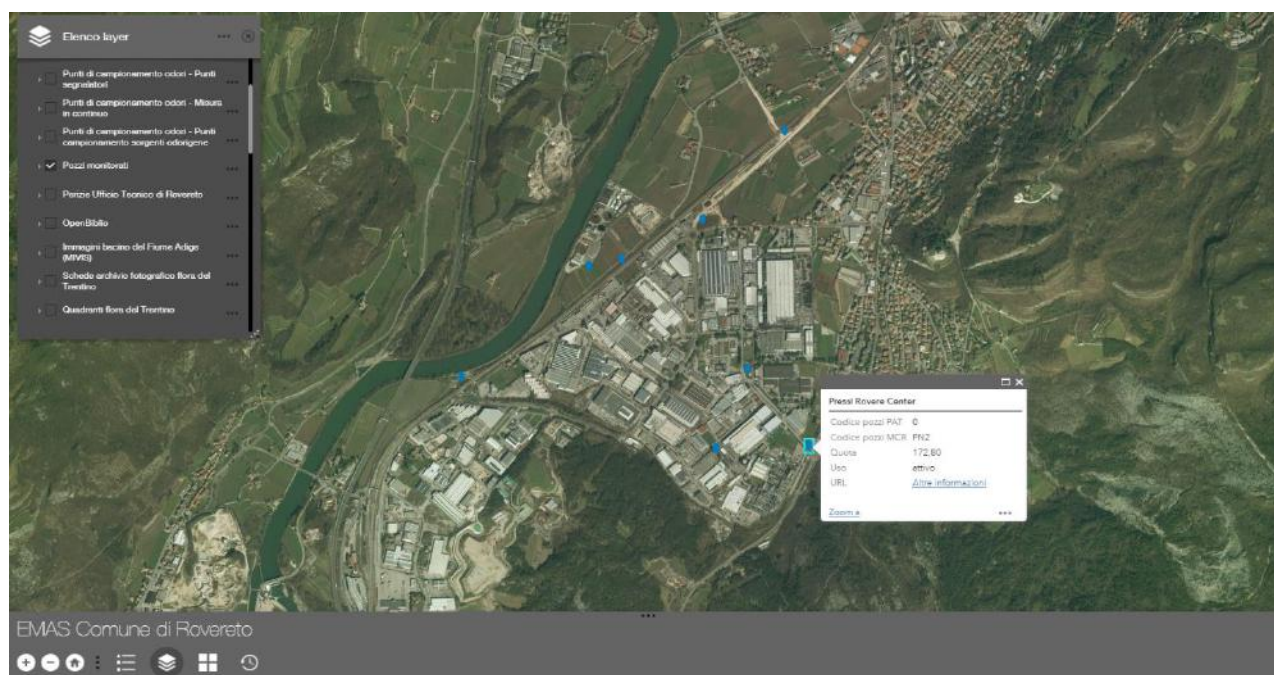


Fig. 34. Estratto dal WebGis collegato al sito EMAS del Comune di Rovereto; in evidenza il solo layer dedicato ai punti "Pozzi monitorati".

Nel 2021 questo lavoro di rilevazione mensile (grossomodo condotto a metà mese, in un unico giorno) della profondità della prima falda è proseguito su cinque pozzi, distribuiti tra la porzione di monte della zona industriale (lungo e attorno al Viale del Lavoro nei pressi dell'azienda Pama, al Rovercenter e a piazzale Degasperi) e quella di valle (due in Loc. Cires), spostandosi verso l'asta del fiume Adige.

I dati di quota assoluta della prima falda nei vari punti di misura, mese per mese, sono riportati nel grafico di figura 35. La tavola d'acqua, tra gennaio e dicembre 2021, ha oscillato mediamente attorno alla quota di 166 m s.l.m. con una forte omogeneità nella risposta mensile fra i diversi punti di controllo. L'unica eccezione si ha per il valore raccolto a settembre nel pozzo di piazzale De Gasperi che si discosta in modo marcato da tutti gli altri ma, con ogni probabilità, ciò è dovuto ad un errore nella misurazione da parte dell'operatore e per questo è stato tolto dal grafico¹⁶, mentre la misura di aprile del pozzo in località Cires non è stata effettuata. Il grafico mette in evidenza come la dinamica

¹⁶ Probabilmente anche il dato di aprile è viziato da un errore nella rilevazione del livello.

delle precipitazioni stagionali si rifletta in quella della falda superficiale. Quest'anno infatti la tavola d'acqua ha mantenuto generalmente un livello più elevato in inverno, primavera ed estate, mentre è calato sensibilmente in autunno.

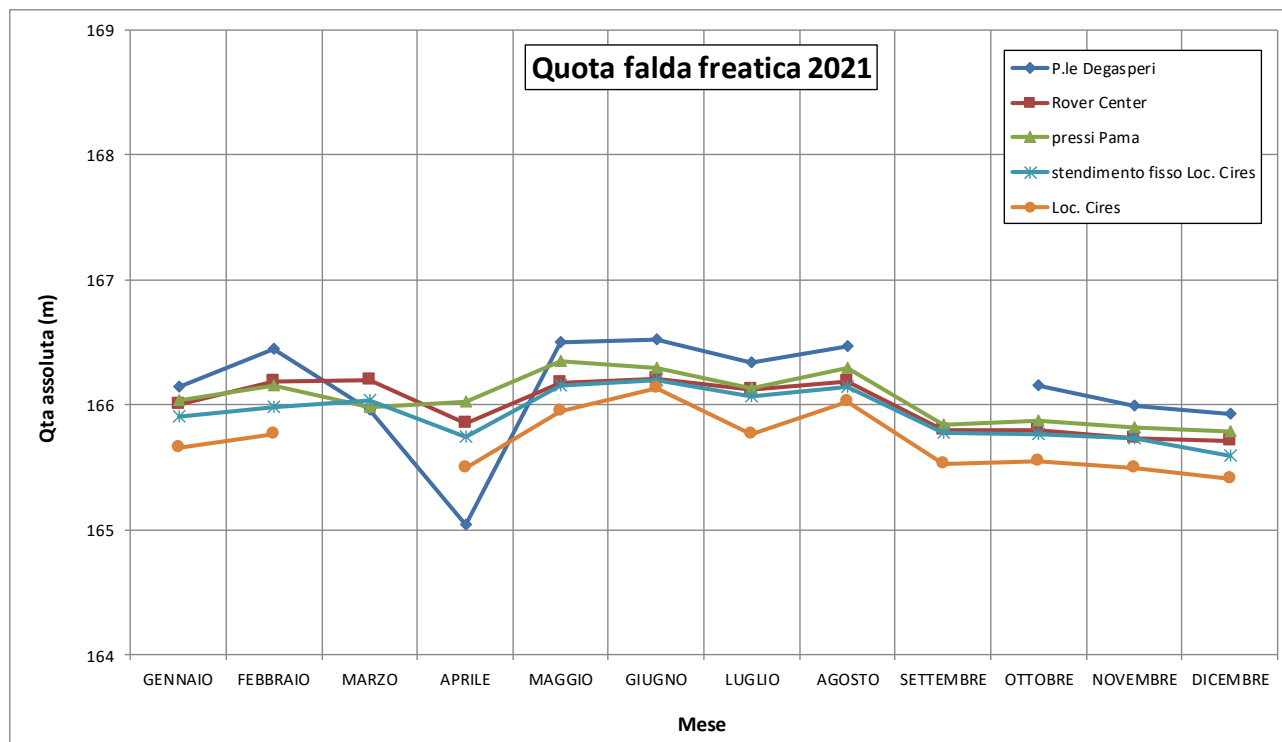


Fig. 35. Grafico dell'andamento della quota assoluta della falda freatica della piana alluvionale di Rovereto in pozzi di controllo distribuiti all'interno della zona industriale omonima.

2.4 Monitoraggio entomologico della zanzara tigre

Dal 1997 il Museo Civico ha affiancato il Comune di Rovereto nel controllo della zanzara tigre al fine del contenimento dell'infestazione e della molestia oltre che del rischio sanitario. Nel 2021 l'attività di controllo di questo insetto di interesse sanitario è perseguita abbracciando, come avviene ormai dal 2011, anche i territori dei Comuni limitrofi, con un areale di studio che va da Aldeno a nord fino ad Avio a sud e col coinvolgimento anche del comune di Brentonico. Per quanto attiene ai report degli anni precedenti sono presenti e liberamente scaricabili dal sito curato dalla Fondazione MCR, <https://zanzara.fondazionemcr.it>, riservato al progetto di monitoraggio della zanzara tigre, alla pagina dedicata:

https://zanzara.fondazionemcr.it/zanz_context.jsp?ID_LINK=113248&area=227).

Il grafico in figura 36, frutto delle rilevazioni dell'intera stagione di controllo (dal 11 maggio al 26 ottobre 2021, per venticinque settimane di controllo), mostra un andamento dell'infestazione in termini di intensità (espressa come numero medio di uova per ovitrappola positiva), variabile da Comune a Comune. Quest'anno l'infestazione, pur seguendo come di norma l'aumento delle temperature medie e dunque l'andamento stagionale, ha mostrato un ritardo nell'avvio della stagione riproduttiva. L'andamento climatico del 2021 è stato caratterizzato infatti da temperature piuttosto basse e da una piovosità ridotta rispetto alle medie stagionali, fattori questi che non hanno favorito l'avvio della stagione riproduttiva della zanzara. Il clima ha dunque aiutato nel bloccare i primi sfarfallamenti degli insetti adulti nei 17 comuni aderenti della Vallagarina, Alto Garda e Ledro, inoltre, i trattamenti antilarvali precoci svolti a inizio stagione, hanno portato ad un drastico contenimento delle zanzare già dai primi mesi.

In questi ultimi anni, grazie ai dati raccolti dalla Fondazione Museo Civico di Rovereto si è notato che, dopo un'impennata iniziale corrispondente ai primi anni dall'arrivo in Italia e in Trentino, la presenza di questo insetto dannoso sembra essersi da noi stabilizzata e aver arrestato la crescita almeno nei comuni oggetto di costante, annuale trattamento.

Lo storico dei dati raccolti dal 2001 al 2019 sono consultabili anche su piattaforma Webgis dove sono visibili tutti i punti di controllo (ovitrappole) utilizzati in questi anni o nell'archivio dedicato dove ogni ovitrappola è presente con la relativa scheda (<https://zanzara.fondazionemcr.it>).

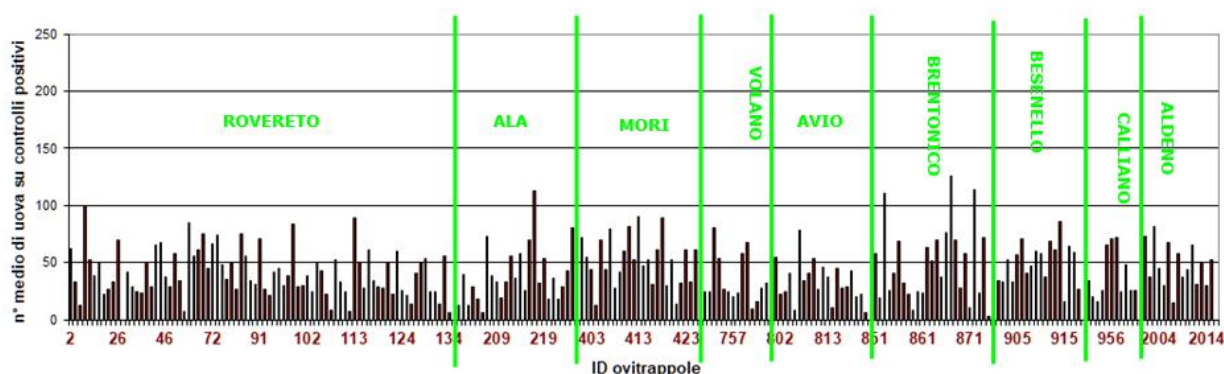


Fig. 36. Grafico del numero medio di uova su controlli positivi registrato per ciascun punto di controllo (ovitrappola) presente nei dieci Comuni indagati nel 2021. Complessivamente, da maggio a fine ottobre 2021, si sono monitorate per 25 settimane 234 ovitrappole, di cui oltre settanta nel comune di Rovereto, distribuite dal fondovalle fin sui versanti a costituire una rete a maglie fitte.

Dal 2019 ad oggi i dati raccolti sono invece disponibili al link <https://vettoritrentino.it/> del tavolo di lavoro provinciale, dove l'archivio viene implementato in collaborazione con MUSE e Fondazione Mach.

2.5 Monitoraggio della flora

Dal 1991 la Sezione di botanica del Museo Civico di Rovereto, oggi Fondazione, ha avviato il progetto di Cartografia Floristica del Trentino al fine di raccogliere dati distributivi di tutte le piante vascolari spontanee (autoctone, naturalizzate o casuali) su tutta la Provincia di Trento. L'attività di censimento, che considera la componente vegetale costituita dalle piante superiori (quindi pteridofite e spermatofite), ha coinvolto il territorio del Comune di Rovereto anche nel 2021, con varie uscite per un totale di 2.515 record floristici raccolti (Fig. 37).

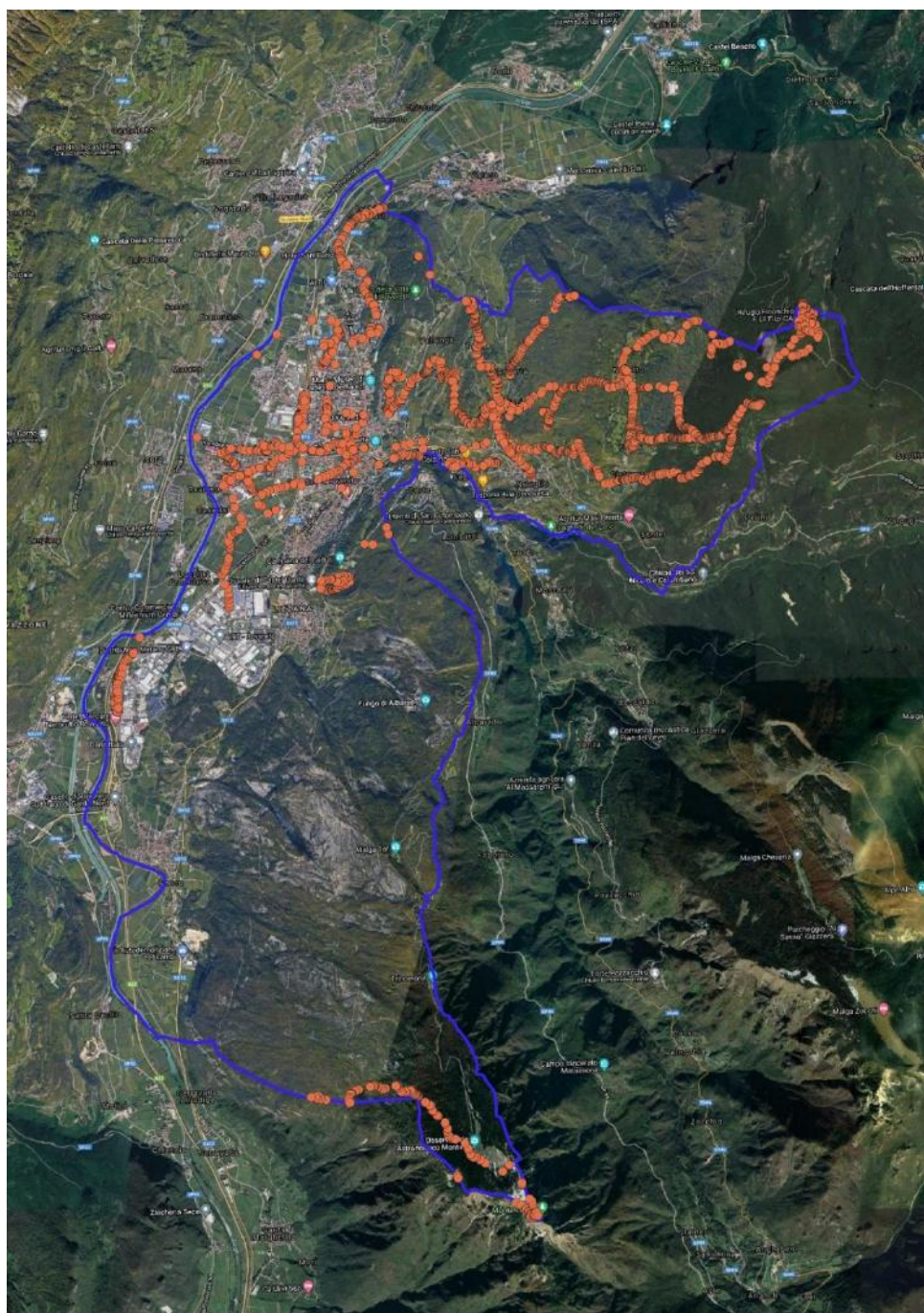


Fig. 37. Distribuzione puntuale dei dati floristici raccolti dalla sezione botanica della FMCR nel 2021

2.6 Monitoraggio iperspettrale

Per un quadro generale ambientale, multi temporale, del territorio roveretano (vegetazione e indicazioni indirette sul primo sottosuolo; coperture e atmosfera) si sta sperimentando dal 2017 la possibilità di sfruttare la tecnologia iperspettrale raccogliendo delle immagini rappresentative della zona di interesse da un paio di siti panoramici (che col 2021 sono diventati tre) affacciati sulla Vallagarina. Infatti, nel corso della giornata del 7 luglio 2021 e, in seguito, in quella del 22 settembre 2021, sono state realizzate alcune riprese iperspettrali. Una prima serie, al mattino, dalla postazione presso la strada che porta al monte Zugna all'altezza di Malga Tof e una seconda serie nel pomeriggio, dal nuovo punto di ripresa collocato sulla piattaforma dell'ex tiro a segno di Lenzima¹⁷ (Fig. 38). La mattina dell'8 settembre 2021, invece, è stata realizzata l'unica campagna di rilevamento al Sacrario militare di Castel Dante a causa dell'impossibilità di accesso nel mese di luglio.

Per le riprese è stato impiegato un sistema iperspettrale HYPERSPECTRAL imaging system "PAN & TILT" DV Optich¹⁸ per l'intervallo 400-1000 nm, esplorato secondo una serie progressiva di intervalli contigui con risoluzione nominale di 10 nm. A complemento dei rilievi iperspettrali sono state acquisite immagini nel visibile, primo infrarosso (con fotocamera convenzionale Lumix e fotocamera modificata Canon) e infrarosso termico (con un termografo bolometrico Avio A65 per l'intervallo 800-1200 nm)¹⁹.

Le condizioni meteorologiche sono risultate purtroppo poco favorevoli alle indagini effettuate.



Fig. 38. Allestimento delle strumentazioni nelle postazioni del Sacrario Militare (a sinistra), lungo la strada del Monte Zugna (al centro) e all'ex tiro a segno di Lenzima (a destra).

Si propongono di seguito (Figg. 39-46) alcuni esempi di elaborazione usando i dati raccolti in campagna. Si tratta di elaborazioni mutate dal telerilevamento facendo ricorso ai concetti di tessitura, stato delle superfici, stato vegetazionale, etc. al fine di ottenere un quadro informativo delle condizioni del territorio alla data della ripresa e confrontabile nel tempo.

¹⁷ Gentilmente messa a disposizione dal sig. Fabrizio Todesco.

¹⁸ La strumentazione utilizzata (spettrometro HYPERSPECTRAL imaging system "PAN & TILT" for remote sensing, DV Optich) è equipaggiata con due sensori e consente di acquisire informazioni per immagini nelle bande di lunghezza d'onda 400-1000 nm e 900-1700 nm, vale a dire dal visibile al primo infrarosso. Il sistema è definito iperspettrale poiché è in grado di misurare oltre 100 bande spettrali grazie alla buona risoluzione spettrale (10 nm).

¹⁹ Buona parte delle misure sono state acquisite ed elaborate dall'ing. Arnaldo Tonelli.

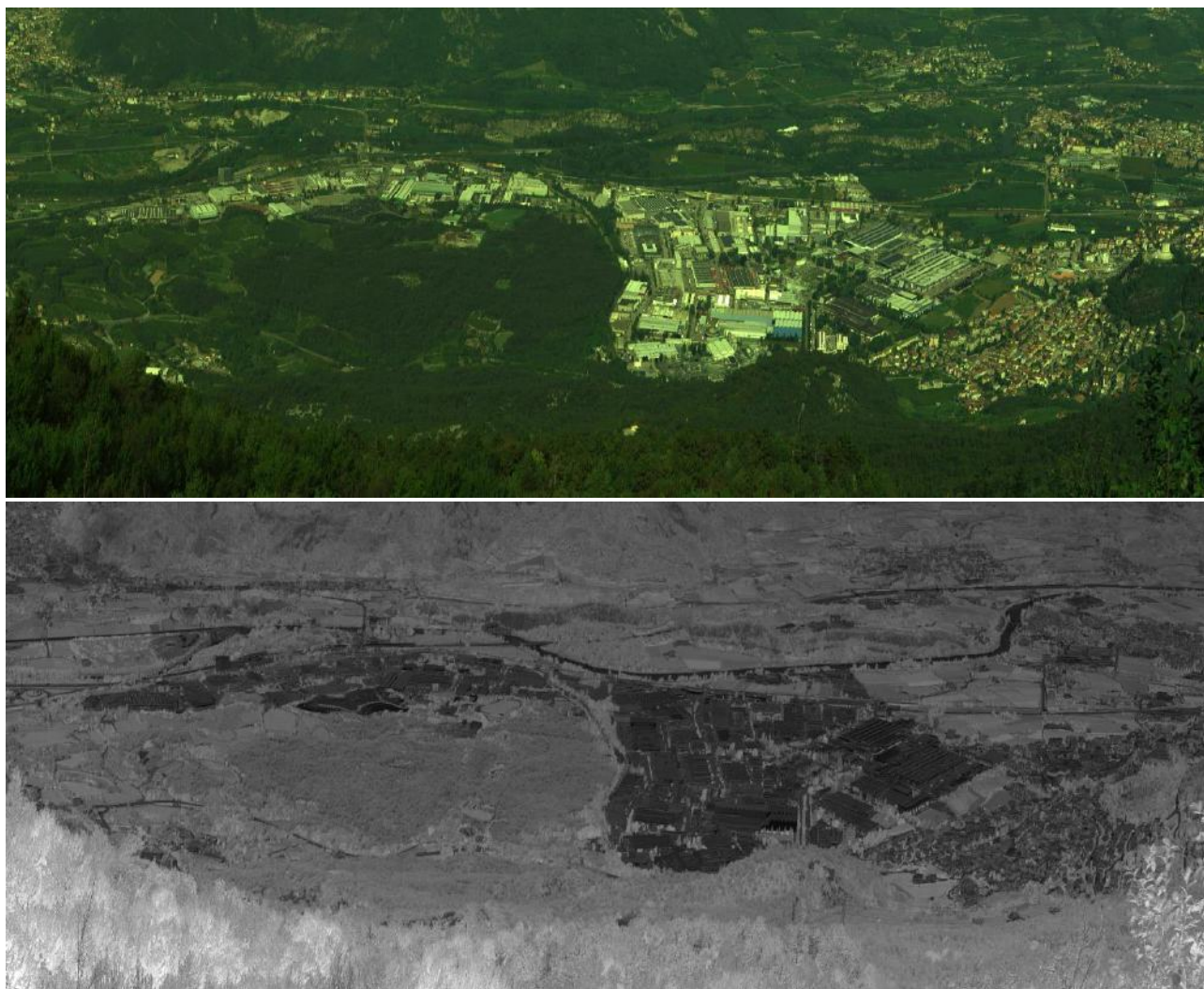


Fig. 39. Immagini panoramiche del rilievo iperspettrale eseguito da Monte Zugna (vedi testo a seguire).

-in alto

panoramica della zona ripresa in **sintesi additiva delle bande 450, 550, 650 nm**. Rispetto a una fotografia convenzionale il contrasto cromatico è accentuato per l'impiego di bande ad intervallo spettrale ristretto.

-in basso

centro di radianza, fornisce informazioni su classi di superficie ossia discrimina a grandi linee i materiali delle diverse superfici. L'andamento del centro di radianza è reso in toni di grigio che vanno dallo scuro al chiaro ad indicare la prevalenza verso le lunghezze d'onda minori e, rispettivamente, maggiori. Il campo delle superfici inerti occupa prevalentemente, la porzione dei grigi scuri. Le superfici colonizzate da vegetazione attiva si mostrano in toni di grigio chiaro

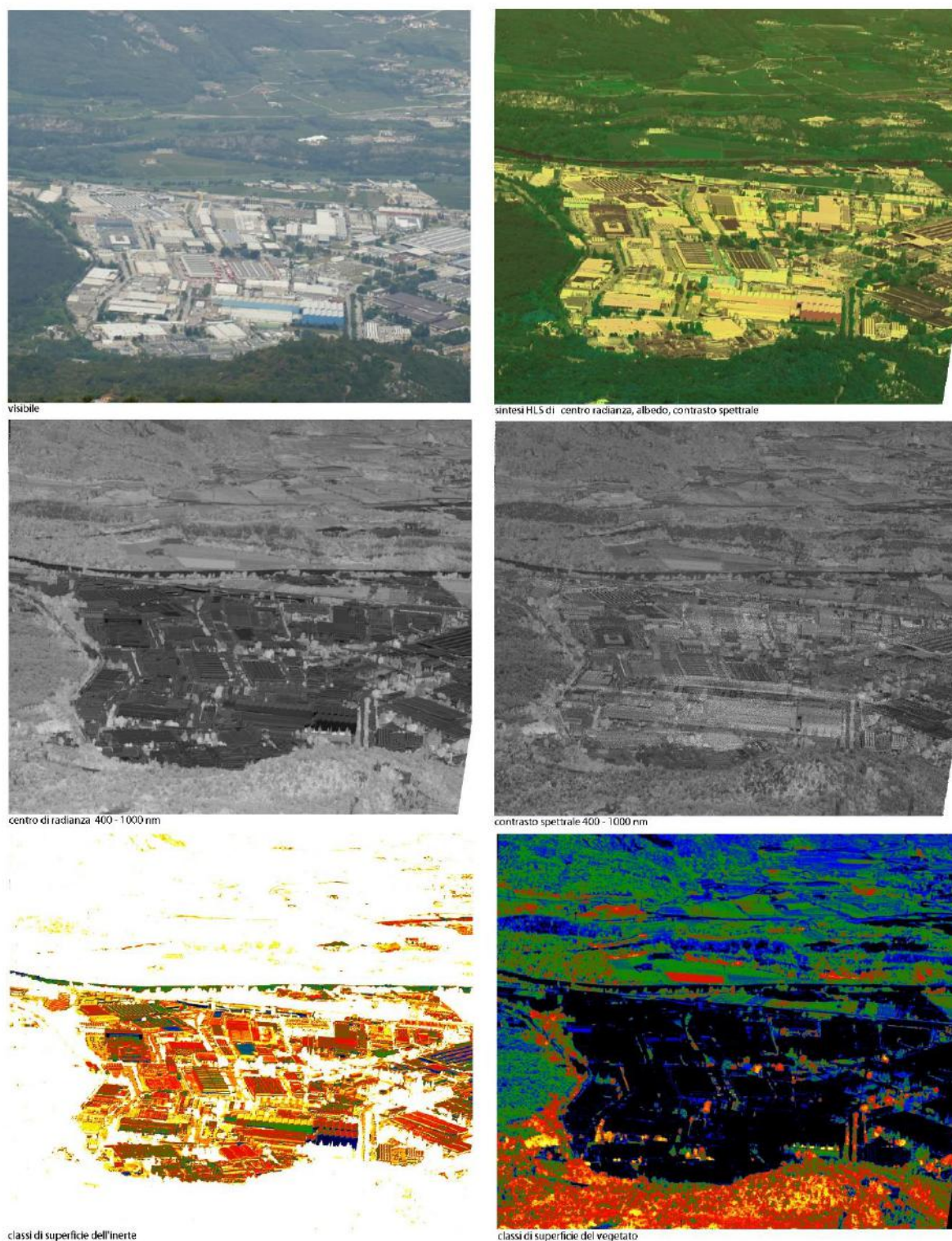


Fig. 40. Rilievo iperspettrale eseguito da Monte Zugna (vedi testo a seguire).

-alto sinistra

inquadratura nel **visibile** della zona ripresa

-alto destra

ricostruzione a colori che tiene conto di tutte le bande, con questa tecnica le varie superfici sono distinte da un contrasto cromatico molto spinto.

-medio sinistra

andamento del **centro di radianza** reso in toni di grigio che vanno dallo scuro al chiaro ad indicare la prevalenza verso le lunghezze d'onda minori e, rispettivamente, maggiori. Fornisce informazioni su classi di superficie ossia discrimina a grandi linee i materiali delle diverse superfici. Il campo delle superfici inerti (soprattutto edifici) occupa prevalentemente, la porzione dei grigi scuri. Le superfici colonizzate da vegetazione attiva si mostrano in toni di grigio chiaro.

-medio destra

andamento del **contrasto spettrale** reso in toni di grigio dove il grigio scuro è legato a superfici con risposta spettrale piatta e il grigio chiaro a superfici spettralmente contrastate.

-basso sinistra

selezione di **classi di superficie dell'inerte** (soprattutto edifici) rese in codice convenzionale a colori. Dalla matrice numerica del centro di radianza sono stati selezionati i valori corrispondenti a zone non vegetate

-basso destra

selezione di **classi di superficie vegetate** rese in codice convenzionale a colori. La vegetazione attiva è ben rappresentata secondo prati, latifoglie, conifere. La procedura risente della distanza e dal basso angolo di presa a causa della diffusione dell'atmosfera accentuata nella regione del blu.

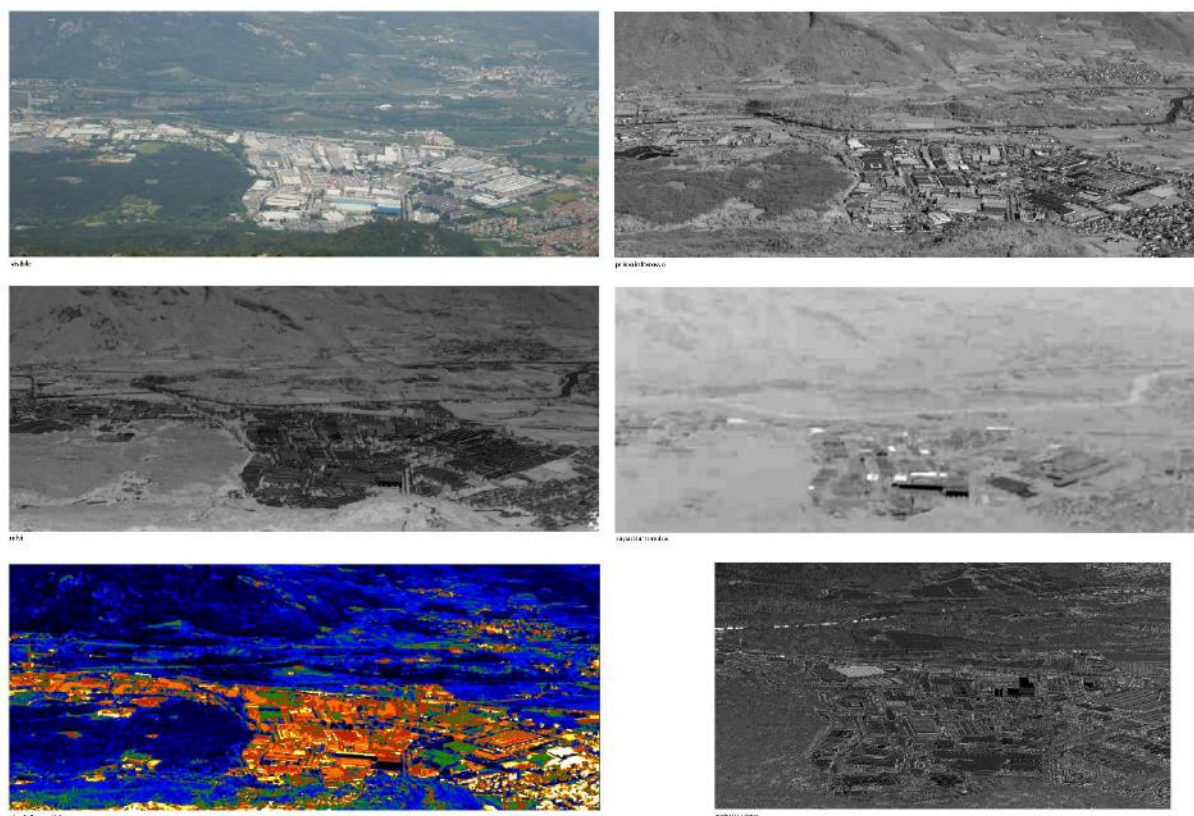


Fig. 41. Rilievo iperspettrale eseguito da Monte Zugna (vedi testo a seguire).

-alto sinistra

ripresa nel **visibile** con fotocamera Lumix

-alto destra

inquadratura nel **primo infrarosso** intorno 750 nm. Viene esaltata la grande trasparenza dell'atmosfera in questa regione dello spettro. Si può notare nel vegetato la netta differenza tra le conifere e le latifoglie, e il grande contrasto luci ombre nell'artificiale.

-medio sinistra

andamento dell'indice di densità dell'apparato fogliare (**NDVI**): si noti la netta separazione tra superfici inerti (grigio scuro) e superfici vegetate (con grigio sempre più chiaro passando da conifere a latifoglie).

-medio destra

capacità termica descritta per confronto fra termografie acquisite in orario diverso nel corso del transitorio di riscaldamento della mattina. La variazione di temperatura è minore dove la capacità termica è maggiore, in grigio chiaro le masse con capacità termica elevata (vedi fiume Adige e vegetazione) in grigio più scuro i corpi con capacità termica minore. Per la vegetazione alta capacità termica associata ad alti valori di NDVI danno conto del suo buon stato fisico.

-basso sinistra

classificazione di superfici ottenute dall'elaborato NDVI. In blu il vegetato e in varie altre tonalità le varie classi di superfici all'interno dell'artificiale.

-basso destra

polarizzazione. Una serie di immagini è stata ripresa con un filtro polarizzatore ruotato progressivamente da 0° a 135°. Nella classificazione delle superfici la polarizzazione costituisce una informazione complementare che differenzia le superfici lucide da quelle opache (lucida più chiara, opaca più scura).

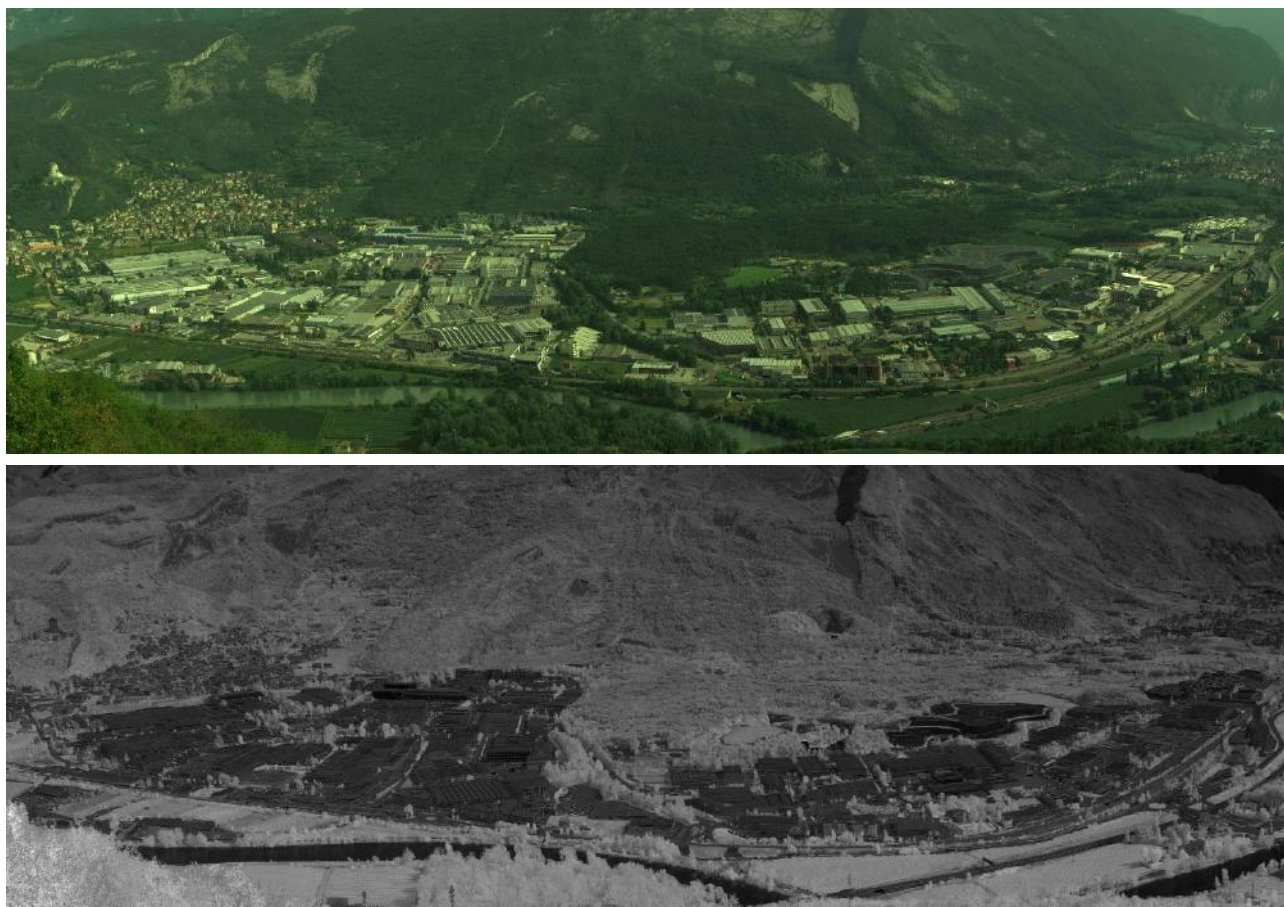


Fig. 42. Immagini panoramiche del rilievo iperspettrale eseguito da Lenzima d'Isera (vedi testo a seguire).

-in alto

panoramica della zona ripresa in **sintesi additiva delle bande 450, 550, 650 nm**. Rispetto a una fotografia convenzionale il contrasto cromatico è accentuato per l'impiego di bande ad intervallo spettrale ristretto.

-in basso

centro di radianza, fornisce informazioni su classi di superficie ossia discrimina a grandi linee i materiali delle diverse superfici. L'andamento del centro di radianza è reso in toni di grigio che vanno dallo scuro al chiaro ad indicare la prevalenza verso le lunghezze d'onda minori e, rispettivamente, maggiori. Il campo delle superfici inerti occupa prevalentemente, la porzione dei grigi scuri. Le superfici colonizzate da vegetazione attiva si mostrano in toni di grigio chiaro.

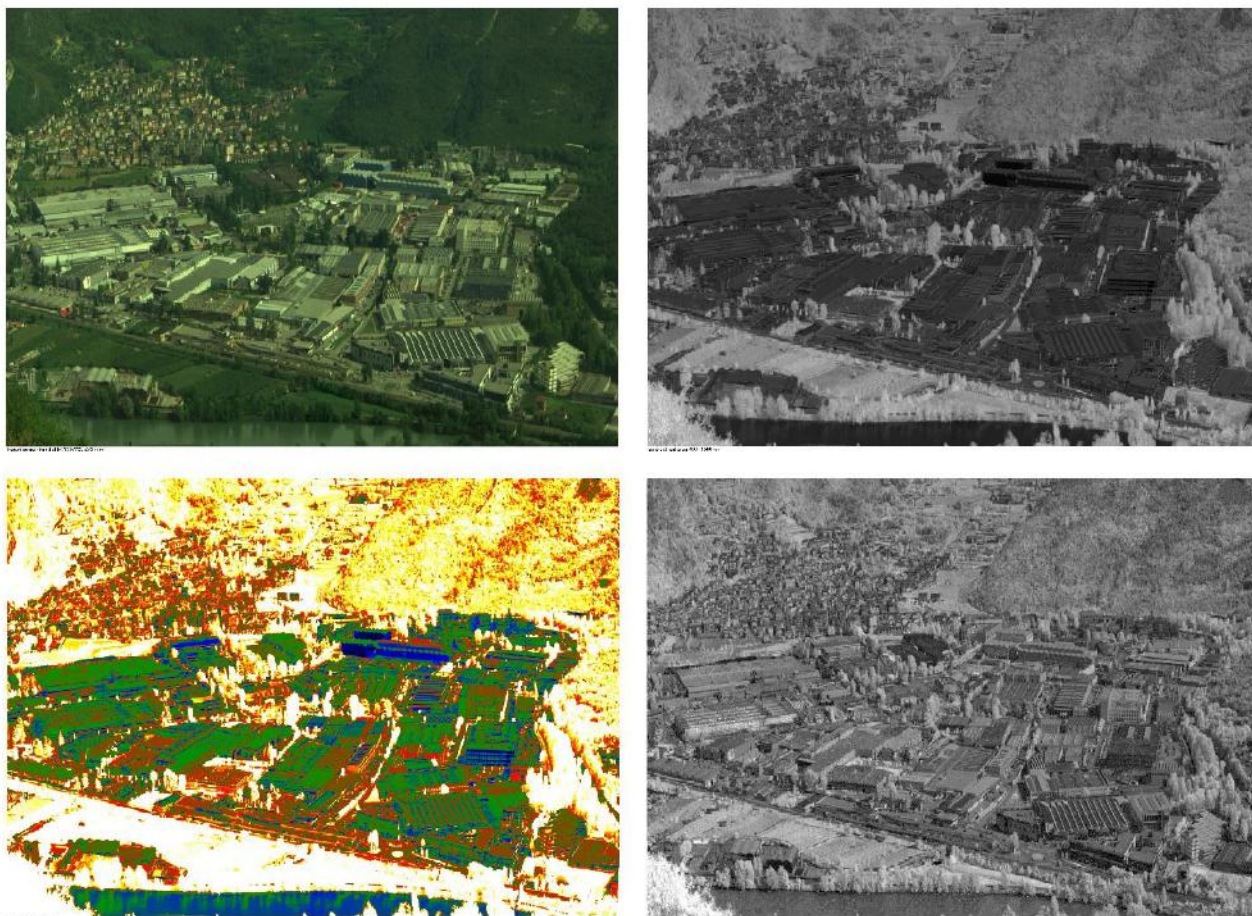


Fig. 43. Rilievo iperspettrale eseguito da Lenzima d'Isera (vedi testo a seguire).

-alto sinistra

inquadratura della zona ripresa, **sintesi additiva delle bande 450, 550, 650 nm**. Rispetto a una fotografia convenzionale il contrasto cromatico è accentuato per l'impiego di bande ad intervallo spettrale ristretto.

-alto destra

centro di radianza per l'intervallo 400 – 1000 nm. Andamento del centro di radianza reso in toni di grigio che vanno dallo scuro al chiaro ad indicare la prevalenza verso le lunghezze d'onda minori e, rispettivamente, maggiori. Il campo delle superfici inerti occupa prevalentemente, la porzione dei grigi scuri. Le superfici colonizzate da vegetazione attiva si mostrano in toni di grigio chiaro.

-basso sinistra

selezione di alcune **classi di superficie**. La diffusione nella regione del blu rende problematica la separazione delle aree inerti da quelle vegetate a distanza grande

-basso destra

andamento del **contrasto spettrale** per l'intervallo 400 – 1000 nm reso in toni di grigio dove il grigio scuro è legato a superfici con risposta spettrale piatta e il grigio chiaro a superfici spettralmente contrastate.

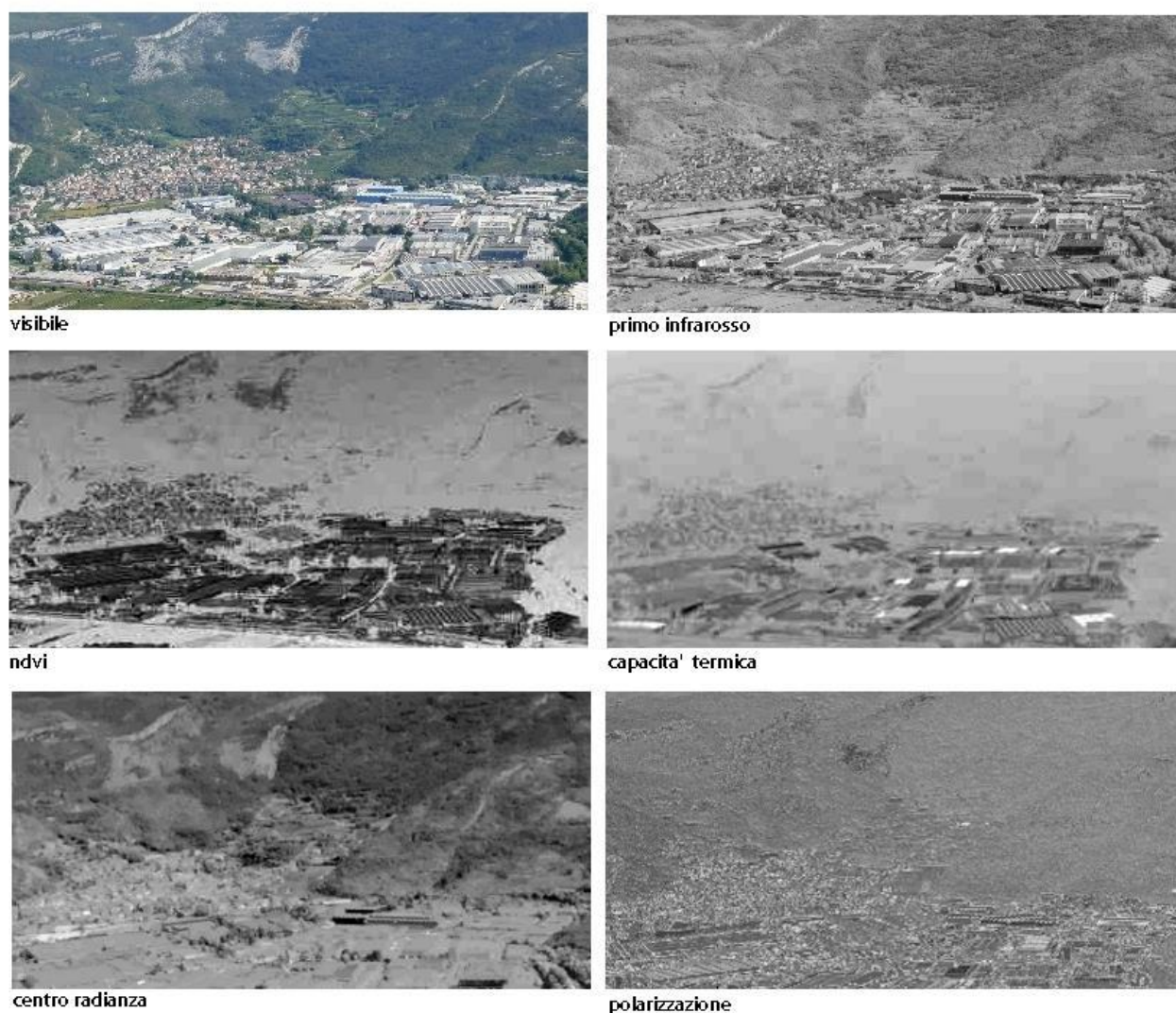


Fig. 44. Rilievo iperspettrale eseguito da Lenzima d'Isera (vedi testo a seguire).

-alto sinistra

inquadratura **nel visibile** con fotocamera Lumix (osservare il minor contrasto cromatico rispetto alla corrispondente immagine della figura precedente).

-alto destra

primo infrarosso da fotocamera Canon modificata: la vegetazione attiva è brillante e le ombre accentuate per effetto della ridotta diffusione dell'atmosfera in questo intervallo dello spettro.

-medio sinistra

andamento dell'indice di densità dell'apparato fogliare (**NDVI**) ottenuto per confronto del primo infrarosso Irf con il blu B. Si noti la netta separazione tra superfici inerti (grigio scuro) e superfici vegetate (grigio chiaro).

-medio destra

capacità termica. E' stata ottenuta dal confronto fra riprese termografiche spaziate di circa 90 minuti nel corso del transitorio decrescente del pomeriggio. Nel codice adottato la capacità termica cresce dal grigio scuro al grigio chiaro. Il fiume Adige e la vegetazione in buono stato hanno elevati valori di capacità termica. Valori contenuti sono propri di insediamenti abitativi e industriali. La radiazione termica del cielo su superfici molto inclinate provoca un apparente altissimo valore di capacità termica per la reale stabilità della temperatura nel tempo (valori fuori scala, oltre -40°C).

-basso sinistra

centro di radianza ottenuto dalla sola immagine a colori. Le diverse classi di superficie sono individuate dalle varie tonalità dal grigio scuro al grigio chiaro ($\text{Crad} = (\text{kxB} + 2\text{kxV} + 3\text{kxR})/(\text{B}+\text{V}+\text{R})$ con R,V, B intensità nel rosso verde e blu e k costante).

-basso destra

polarizzazione. Una serie di immagini è stata ripresa con un filtro polarizzatore ruotato progressivamente da 0° a 135° . Nella classificazione delle superfici la polarizzazione costituisce una informazione complementare che differenzia le superfici lucide da quelle opache (lucida più chiara, opaca più scura).

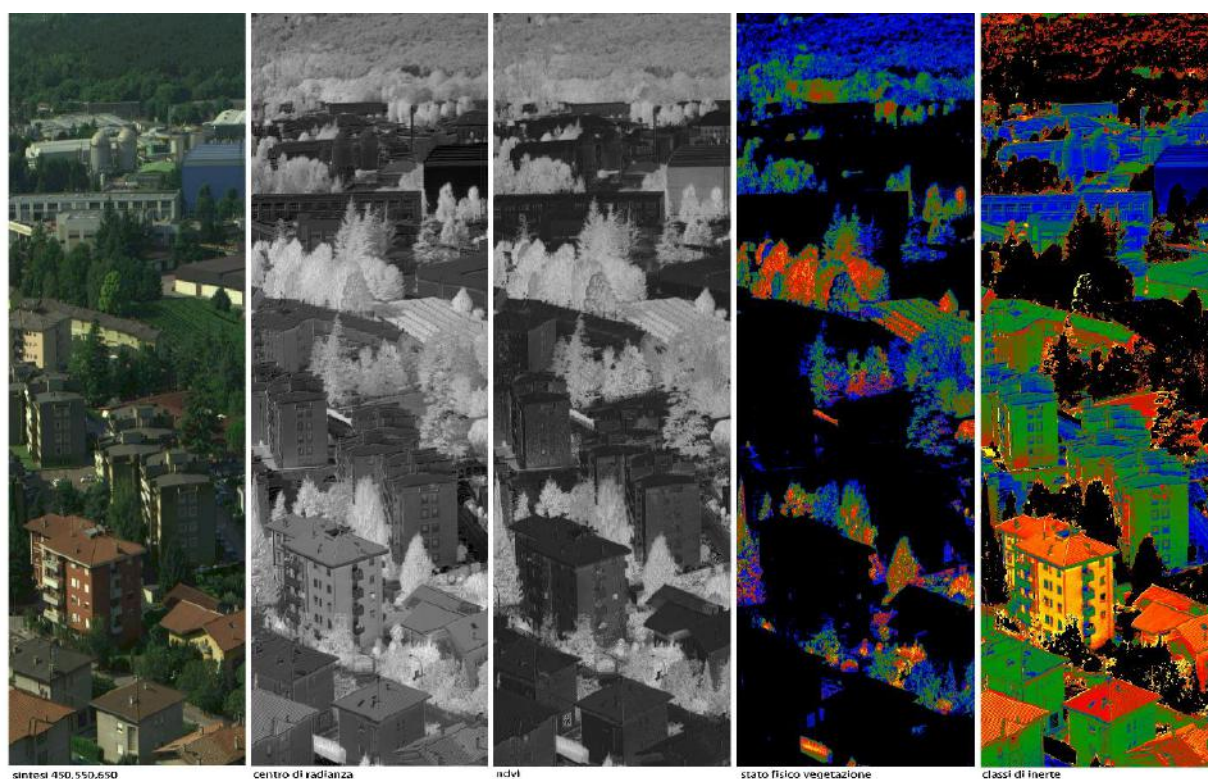


Fig. 45. Rilievo iperspettrale eseguito dal Sacrario Militare di Lizzana (vedi testo a seguire).

Da sinistra a destra

-sintesi additiva di riferimento delle bande 450, 550, 650 nm: rispetto a una fotografia convenzionale il contrasto cromatico è accentuato per l'impiego di bande ad intervallo spettrale ristretto.

-centro di radianza: dallo scuro verso il chiaro la radianza prevalente va dal blu verso l'infrarosso (fornisce informazioni su classi di superficie ossia discrimina a grandi linee i materiali delle diverse superfici).

-andamento dell'indice di densità dell'apparato fogliare (NDVI). Si noti la netta separazione tra superfici inerti (grigio scuro) e superfici vegetate (grigio chiaro).

-stato fisico della vegetazione, selezione di classi di superficie vegetate rese in codice convenzionale a colori. La procedura risente della distanza e dal basso angolo di presa a causa della diffusione dell'atmosfera accentuata nella regione del blu.

-classi di superfici inerti (la diffusione dell'atmosfera rende difficile la separazione vegetato inerte sulla distanza)

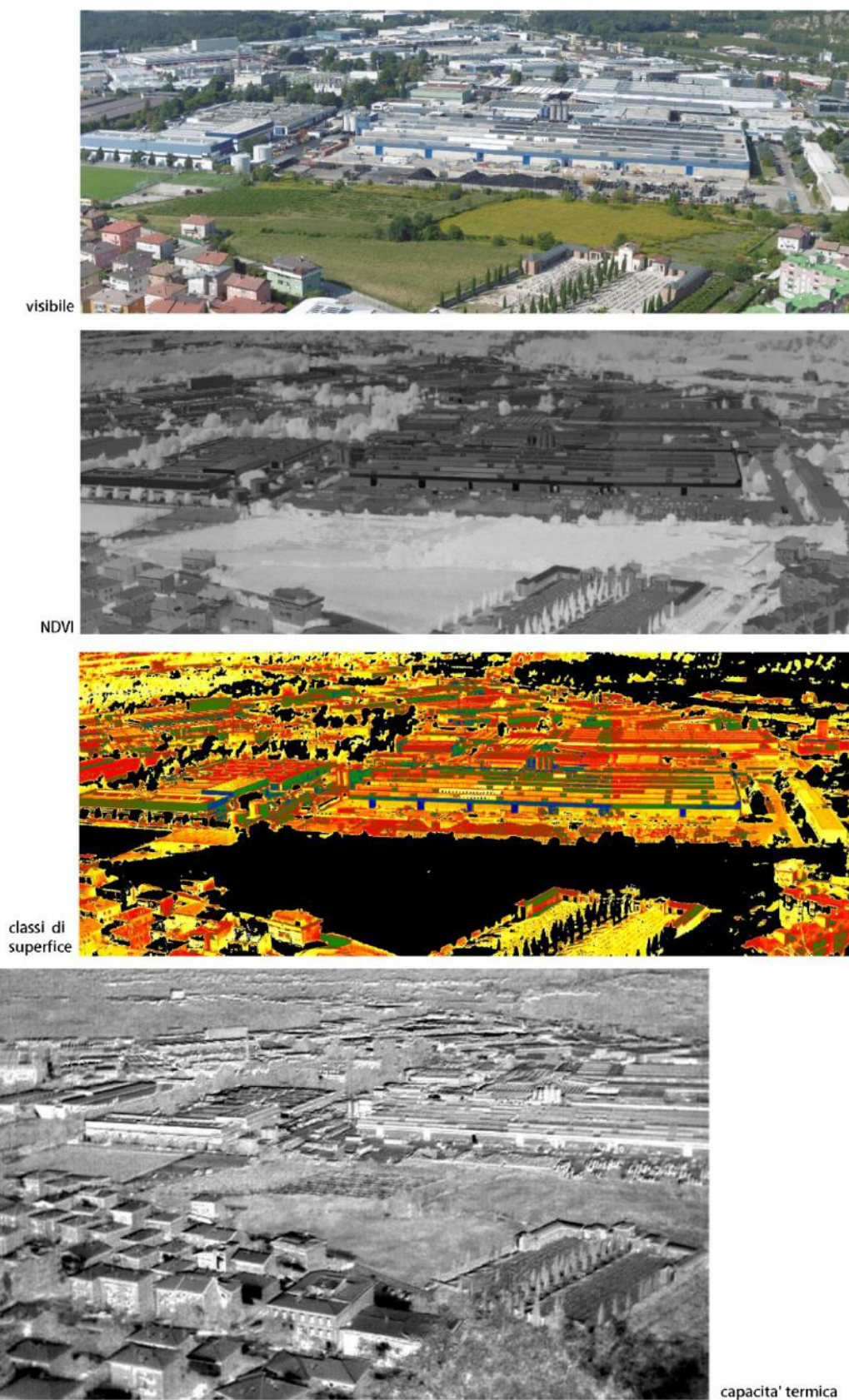


Fig. 46. Rilievo iperspettrale dal Sacrario Militare di Lizzana (vedi testo a seguire).

Dall'alto in basso:

-inquadratura **nel visibile** con fotocamera Lumix.

-**NDVI** ottenuto per confronto del primo infrarosso Irf con il blu B da una ripresa con fotocamera modificata Canon. Si noti il passaggio, secondo toni di grigio crescenti (da più scuro a più chiaro), dall'inerte al vegetato attivo.

-**classi di superficie dell'inerte.**

-andamento della **capacità termica** ottenuto per confronto fra due riprese termografiche delle ore 09.15 e 11.15. La vegetazione in buono stato mostra capacità termica elevata (colore più chiaro): le funzioni vitali tendono a mantenere la temperatura con escursione limitata rispetto a quella dell'ambiente inerte. Le coperture delle case hanno capacità decisamente inferiore (colore scuro) rispetto a quello delle murature perimetrali (colore chiaro).

3. Conclusioni

Il monitoraggio ambientale eseguito dalla Fondazione MCR sul territorio comunale di Rovereto nell'anno 2021 ha riguardato i seguenti ambiti:

- **Il monitoraggio della qualità dell'aria in zona industriale a Lizzana, in termini di odori**, tramite strumentazione Pen3Meteo (naso elettronico) e per mezzo di cittadini segnalatori che collaborano sistematicamente al progetto di monitoraggio (nasi umani). Nasi umani e naso elettronico nel corso della maggior parte dell'anno hanno fotografato una condizione abbastanza simile, ossia la presenza di una scarsa molestia odorigena. Fanno però eccezione i mesi di settembre e ottobre quando i cittadini collaboratori hanno riscontrato un sensibile aumento degli episodi sgradevoli che la macchina invece non ha rilevato. Rispetto ai precedenti questo è stato l'anno con meno segnalazioni di molestia da parte dei cittadini.

- **Il monitoraggio della qualità dell'aria a Marco e a Rovereto in termini di polveri totali sospese (TSP)**. Il campionamento con la strumentazione del laboratorio mobile comunale (in collaborazione con APPA per le pesate), ha mostrato, per le settimane di attività, la presenza di una quantità di polveri sottili ben al di sotto dei limiti normativi, con valori medi più bassi nei periodi più caldi (come atteso) e in dipendenza degli eventi meteorici (considerando le sole PM10 questi valori sarebbero ancora più bassi, mediamente del 50% in meno). Come negli anni precedenti, i valori di concentrazione delle polveri nell'aria di Rovereto e Marco, nei periodi considerati, sono risultati quindi ampiamente al di sotto dei limiti di legge.

- **Il monitoraggio della qualità dell'aria a Marco e a Rovereto in termini di metalli pesanti**. Il campionamento con la strumentazione del laboratorio mobile comunale (analisi chimica eseguita da Dolomiti Energia), ha evidenziato, per le settimane di attività, concentrazioni di metalli pesanti nel particolato atmosferico piuttosto scarse (spesso comparabili alle concentrazioni di zone remote), anch'esse frequentemente dipendenti dagli eventi meteorici. Fanno eccezione i dati di Marco per la giornata del 3 luglio 2021 dove le concentrazioni di nichel e cromo sono state particolarmente alte (comparabili con quelli di un'area industriale) e anche le concentrazioni di mercurio in corso Bettini di settembre-ottobre che però si sono presentate con valori ben lontani da quelli che potrebbero determinare un danno per la salute umana. Il campionamento fotografa quindi, come per gli anni precedenti, una buona situazione della qualità dell'aria, con sporadici, limitati momenti di peggioramento che però non vanno a compromettere le condizioni medie generali.

- **Il monitoraggio del livello della falda acquifera nella zona industriale di Rovereto**. Le misurazioni riflettono la dinamica delle precipitazioni, con una forte omogeneità tra tutti i pozzi controllati. La quota media dell'anno 2021 è stata di 166 m s.l.m., quindi molto simile a quella degli anni precedenti.

- **Il monitoraggio della infestazione da zanzara tigre a Rovereto e nei comuni limitrofi**. Si è rilevata una condizione di particolare contrazione del fenomeno, con un ulteriore miglioramento rispetto agli anni precedenti, dovuto soprattutto alle condizioni meteo-climatiche poco favorevoli ma anche all'efficacia delle misure di contenimento applicate.

- **Il monitoraggio della flora spontanea**. Questo avviene con un'attività di censimento che considera gran parte della componente vegetale e ha coinvolto il territorio del Comune di Rovereto anche nel 2021, con più uscite per un totale di 2.515 record floristici raccolti.

- **Il monitoraggio dell'ambiente nella zona industriale di Rovereto tramite tecnica iperspettrale** (e telerilevamento in generale). Si tratta di una metodologia sperimentale che vorrebbe giungere a rilevare l'evoluzione delle condizioni ambientali, riguardante in particolare la deposizione di polveri sulle coperture (ma anche stato vegetazionale e primo sottosuolo). La serie temporale rilevata finora va dal 2018 al 2021 e ha potuto mostrare il buono stato di salute del vegetato nell'intorno della zona industriale. In termini di inquinamento da polveri invece le immagini elaborate hanno permesso di riscontrare un cambiamento nel corso del tempo, ma non hanno permesso di quantificare in maniera assoluta questa variazione.

Quanto qui sinteticamente descritto va a costituire un ulteriore tassello di un impianto conoscitivo multitemporale e interdisciplinare della situazione del territorio roveretano; strumento informativo utile per gli amministratori ma a disposizione anche della cittadinanza interessata alle tematiche ambientali (http://www.emasrovereto.it/emas_dati).

Le ricerche svolte negli anni vanno a costruire una serie storica informatizzata costituita da una mole di dati imponente che consente la valutazione comparata di aspetti diversi tra loro potenzialmente connessi.

Per il futuro si ritiene importante continuare su questa strada, proseguendo con le linee di monitoraggio collegate alla qualità dell'aria, integrando biomonitoraggio e misura delle polveri da un lato e mappatura degli odori dall'altro.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Colonnello Gianpaolo Franchi, Direttore f.f. del Commissariato Generale per le Onoranze ai Caduti del Ministero della Difesa, per aver autorizzato l'accesso, allo spazio esterno del Sacrario Militare di Rovereto per l'esecuzione delle riprese iperspettrali. Si ringraziano anche gli addetti alla custodia per la disponibilità dimostrata.

Si ringrazia l'Unità Organizzativa Aria, Agenti Fisici e Bonifiche di Appa nella figura del Sostituto Direttore Gabriele Tonidandel e del Funzionario Valentina Miotto per aver curato il condizionamento dei filtri utilizzati nelle sessioni di campionamento delle polveri sottili, per gli utili e fattivi consigli tecnici e ancora, per aver fornito i dati delle polveri sottili nelle finestre temporali di interesse rilevate dalla stazione APPA collocata in centro a Rovereto.

Si ringraziano, per il Laboratorio di Dolomiti Energia Holding S.p.A., Marco Visintainer, per la disponibilità e la professionalità, anche nel fornire informazioni e supporto.

APPENDICE

Note esplicative all'analisi iperspettrale (e di telerilevamento in generale)

Sintesi additiva

L'intensità di tre bande R_x R_y R_z viene assegnata a modulare 3 colori fondamentali R, V, B. Così nei casi delle figure sopra sono stati assegnati

R_{650} > rosso

R_{550} > verde

R_{450} > blu

Albedo

E' la somma della radiazione riflessa dalla serie contigua di bande di riflettività R_i considerate

$$\text{albedo ALB} = \sum_i R_i$$

Per le superfici opache il suo complemento è indice dell'energia radiante assorbita

Tessitura

La somma del valore assoluto delle variazioni di riflettanza R nell'intorno di ogni singolo elemento-immagine (x_i, y_i) secondo direzioni ortogonali rende la tessitura:

$$\text{tessitura TEXT} = \sum_i |R(x_i, y_i) - R(x_{i+1}, y_i)| + |R(x_i, y_i) - R(x_i, y_{i+1})|$$

Centro di radianza

Il centro di radianza CRAD è il centro di massa della radiazione riflessa:

$$\text{CRAD} = (\sum_i b_i R_i) / (\sum_i R_i)$$

Esprime la posizione nello spettro “prevalente” reso dalle bande contigue R_i entro l'intervallo esplorato. Le costanti b_i rappresentano una serie numerica proporzionale alla posizione delle bande R_i nello spettro esplorato.

Contrasto spettrale

Il contrasto spettrale CSP è la somma delle differenze fra intensità della riflettanza fra bande adiacenti R_i

$$\text{CSP} = \sum_i |R_i - R_{i+1}|$$

Il contrasto spettrale viene a volte normalizzato alla albedo nell'intento di compensare l'impatto della morfologia delle superfici rilevate sulla riflessione.

Polarizzazione

Serie di riprese attuate con filtro polarizzatore ruotato in posizioni progressive rendono immagini di intensità variabile se le superfici rilevate hanno un piano di polarizzazione prevalente. Da una serie di immagini acquisite entro il campo $0 \div \pi$ si estraggono i valori di polarizzazione con intensità massima $P_{\max}$ e minima $P_{\min}$ che in accordo alla relazione

$$\text{POLAR} = (P_{\max} - P_{\min}) / (P_{\max} + P_{\min})$$

distinguono le zone dove prevale la polarizzazione della luce incidente rispetto alle zone “amorphe”.

E' anche un modo per classificare le superfici. La varianza di POLAR è interessante a descrivere le discontinuità, come è reso, in altro modo, dalla tessitura.

Indice di vegetazione

La densità della copertura vegetale viene correntemente descritta dalla relazione

$$\text{NDVI} = (I_{\text{rf}} - R) / (I_{\text{rf}} + R)$$

dove I_{rf} è l'intensità della radiazione riflessa nel primo infrarosso (intorno 700÷800 nm) e R l'intensità riflessa della regione del rosso R (intorno 600÷650 nm). Talvolta, per esigenze operative, in luogo del valore di riflessione nel rosso si adotta la riflessione nel blu. Si tratta, comunque, di paragonare una regione dello spettro dove la vegetazione con

fotosintesi attiva riflette (e trasmette) intensamente la radiazione solare incidente con una regione in cui prevale l'assorbimento per i processi di fotosintesi (il rosso e il blu) e quindi la riflessione (e trasmissione) è minima.

Capacità termica

La capacità termica rende conto della quantità di calore accumulata nella massa di un materiale a pari differenza di temperatura. Il confronto della temperatura raggiunta da masse sottoposte a irraggiamento costante, nello stesso intervallo di tempo, è indice della loro capacità termica.