

**Fondazione Museo Civico di Rovereto**

**Attività di monitoraggio ambientale  
2022**

**Comprensiva delle analisi dei dati odorigeni  
dell'ultimo semestre 2022**

Rovereto, marzo 2023

A cura di  
Fondazione Museo Civico di Rovereto

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. MONITORAGGIO AMBIENTALE .....</b>	<b>4</b>
2.1 MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA: MOLESTIA ODORIGENA .....	4
STAZIONE AUTOMATICA DI RILEVAZIONE PEN3METEO (NASO ELETTRONICO) .....	4
RETE DEI CITTADINI SEGNALATORI (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.....	26
BIOMONITORAGGIO LICHENICO .....	34
2.3 MONITORAGGIO DELLA FALDA FREATICA.....	40
2.4 MONITORAGGIO ENTOMOLOGICO DELLA ZANZARA TIGRE .....	42
2.5 MONITORAGGIO DELLA FLORA .....	44
2.6 MONITORAGGIO IPERSPETTRALE .....	45
<b>3. CONCLUSIONI.....</b>	<b>59</b>
<b>RINGRAZIAMENTI .....</b>	<b>61</b>
<b>APPENDICE .....</b>	<b>62</b>

## 1. Premessa

La presente relazione costituisce un compendio delle attività di monitoraggio ambientale svolte dalla Fondazione MCR nel corso del 2022 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, su una rete di controllo, nel 2014, 2016, 2019, fino alla campagna di quest'anno 2022).

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](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](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 capitolo di approfondimento a ogni ambito di ricerca portato avanti nel 2022.

## 2. Monitoraggio ambientale

Il monitoraggio ambientale ha riguardato nel 2022 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, è stata 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 per il periodo gennaio–giugno del 2022 con la strumentazione Pen3Meteo, detta “naso elettronico”, si rimanda al report tematico consultabile on-line nella pagina “DATI” del sito EMAS ([http://www.emasrovereto.it/emas\\_dati](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 a luglio 2022 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 fino a giugno 2022) e a breve sarà pubblicata la versione aggiornata fino a tutto il 2022 (con anche il confronto con le quantità di segnalazioni effettuate dai nasi umani). 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 luglio 2022 al 31 dicembre 2022 la quantità di dati raccolti è stata la seguente:

- ✓ Giorni di misura: 173 (dato aggiornato al 31 dicembre compreso)
- ✓ N. totale misure: 36130 (dato aggiornato al 31 dicembre compreso)
- ✓ N. misure al giorno: ca. 208.

Nel corso dell'intero anno 2022 i dati raccolti sono stati invece i seguenti:

- ✓ Giorni di misura: 323 (dato aggiornato al 31 dicembre compreso)
- ✓ N. totale misure: 67444 (dato aggiornato al 31 dicembre compreso)
- ✓ N. misure al giorno: ca. 208.

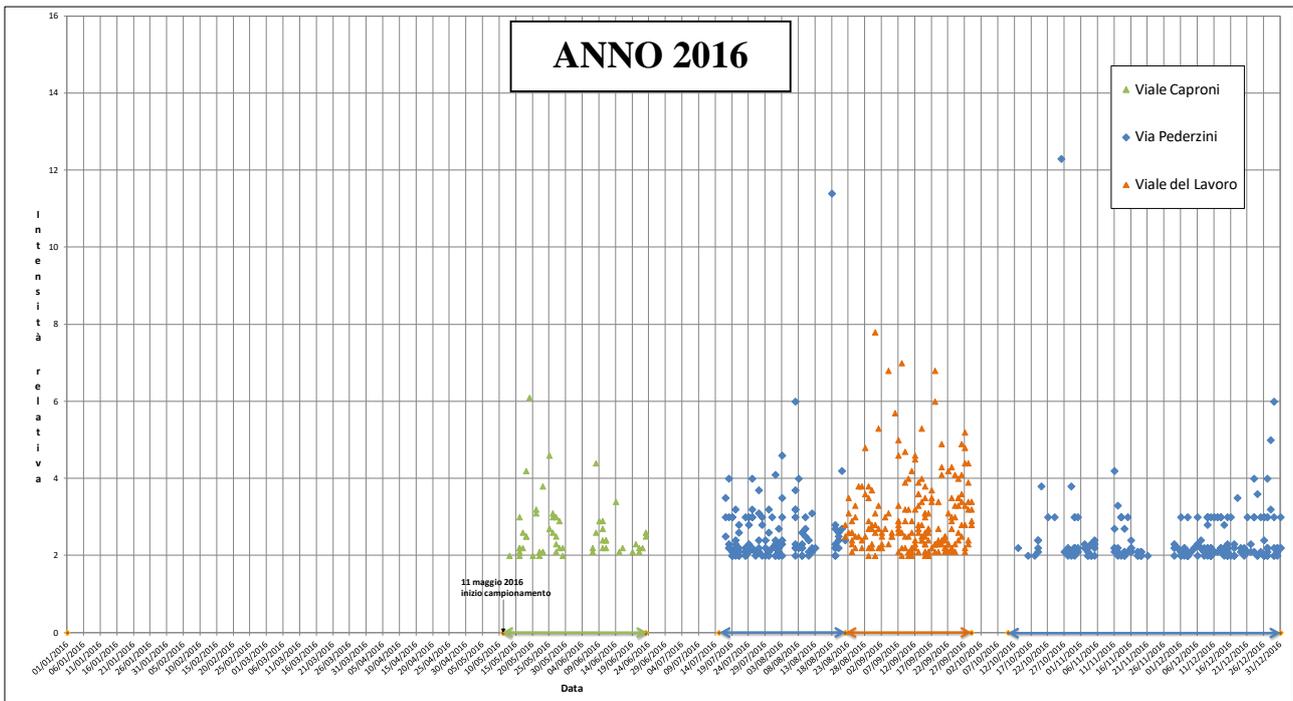
Le misure acquisite dal naso elettronico sono confrontate in automatico dal software WinMuster, tramite l'operazione statistica di correlazione, con le sorgenti odorigene campionate finora, vale a dire le emissioni degli impianti Suanfarma (ex Sandoz), Aquaspace, Discarica e Depuratore e con la cosiddetta "aria base", corrispondente alla misura dell'aria di fondo<sup>1</sup>.

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

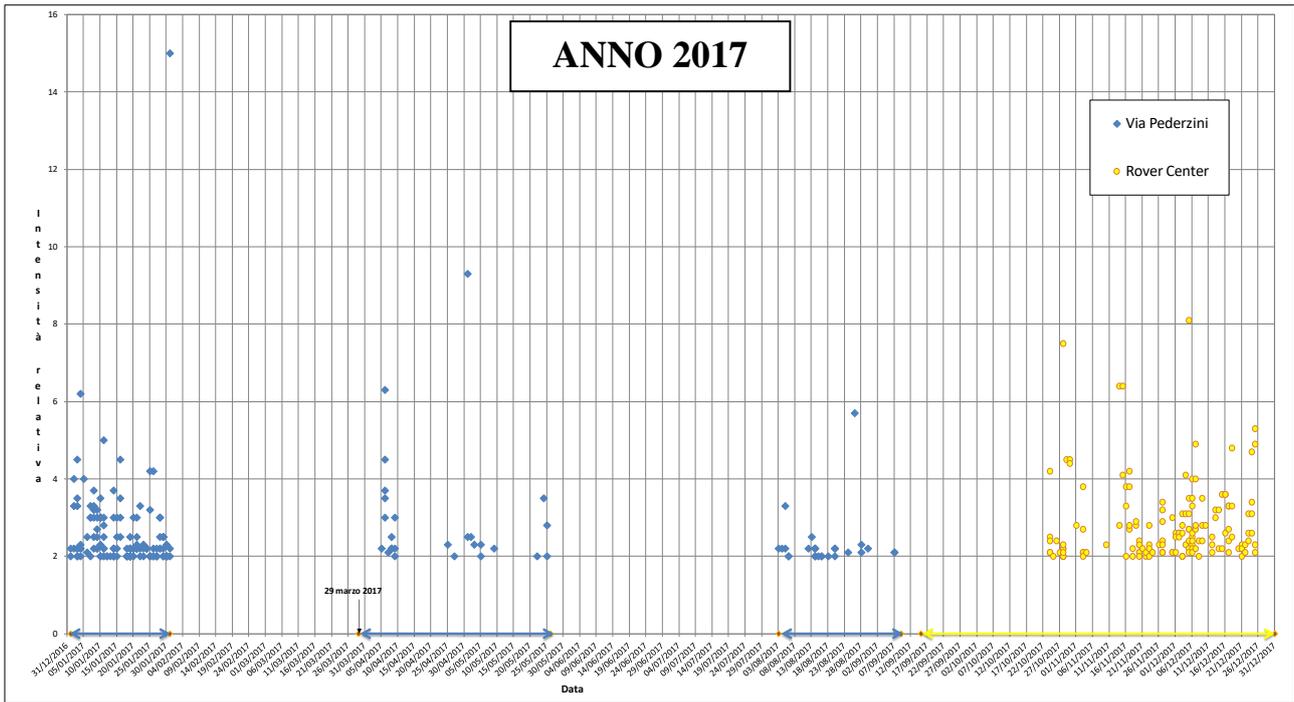
<sup>1</sup> Aria di fondo che rappresenta l'aria priva di un particolare odore, a detta delle persone presenti presso il punto di monitoraggio, e considerata quindi convenzionalmente inodore.

relative all'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.

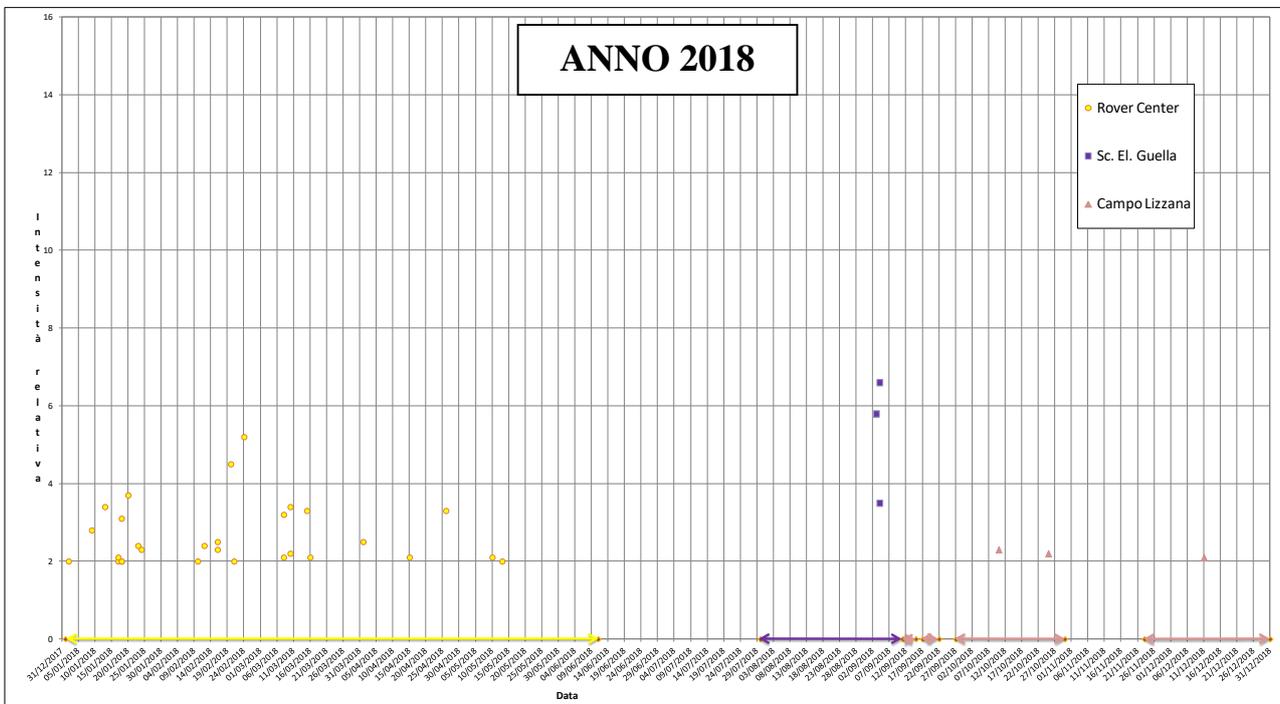
Di seguito si riportano i grafici, costruiti per i singoli anni dal 2016 al 2022, pertinenti agli eventi odorigeni con intensità relativa pari o superiore al livello 2, aggiornati al 31 dicembre 2022 (figg. 2-8). Comprendono e considerano tutti i periodi di rilevazione in continuo effettuati dal naso elettronico da maggio 2016 a fine 2022. 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.



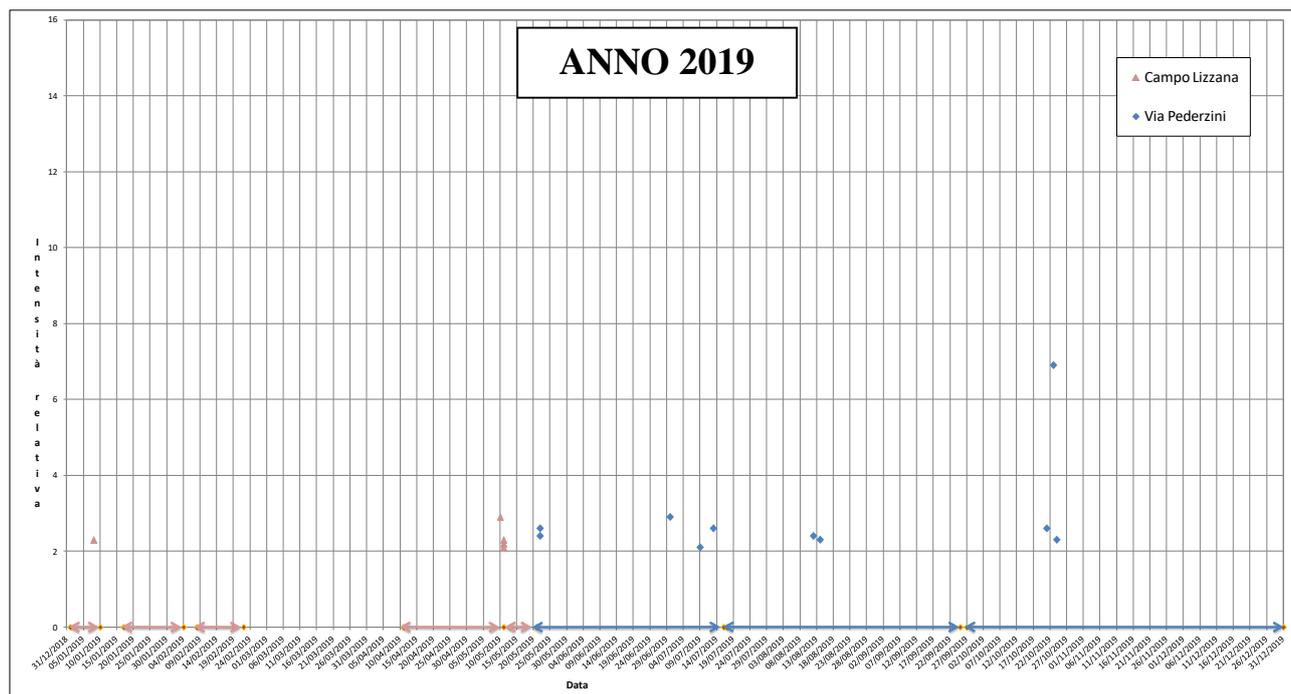
**Fig. 2.** Grafico dell'andamento nel tempo (dall'11 maggio 2016 al 31 dicembre 2016) dei periodi con intensità relativa dell'odore pari o superiore a 2. Le frecce orizzontali sull'ascissa rappresentano gli intervalli temporali in cui la strumentazione Pen3Meteo ha registrato in continuo.



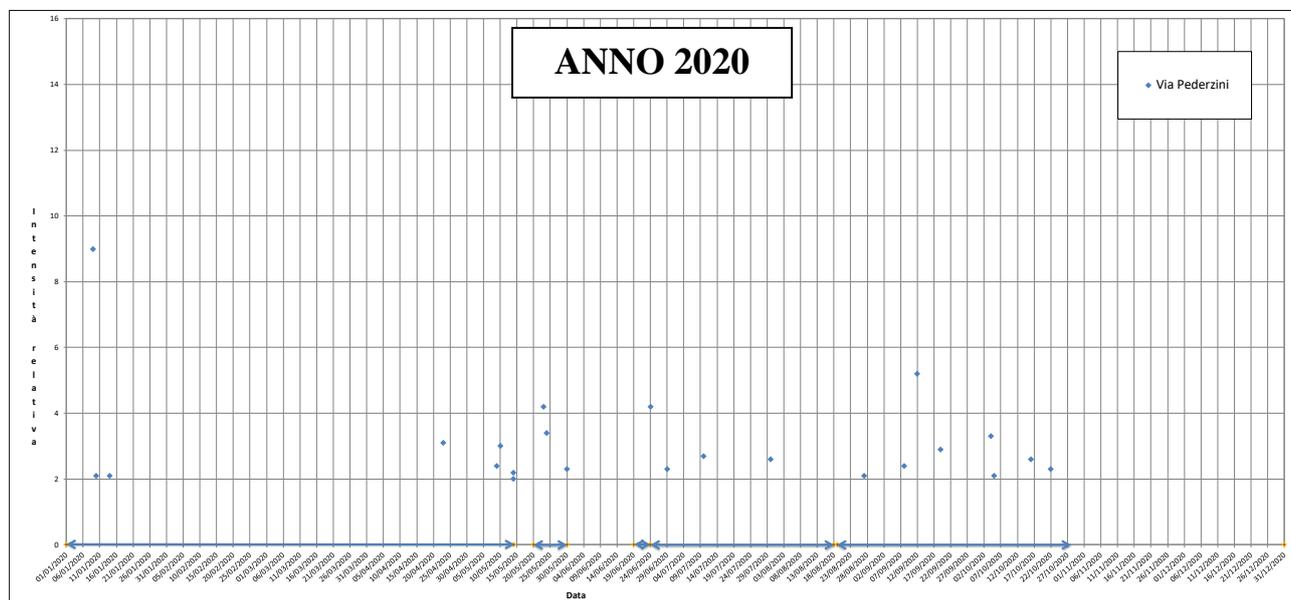
**Fig. 3.** Grafico dell'andamento nel tempo (dal 1 gennaio 2017 al 31 dicembre 2017) dei periodi con intensità relativa dell'odore pari o superiore a 2. Si osservi che dal 29 marzo 2017 è divenuto operativo il sistema di abbattimento odori della Azienda Sandoz ID (oggi Suanfarma S.p.A.). Le frecce orizzontali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



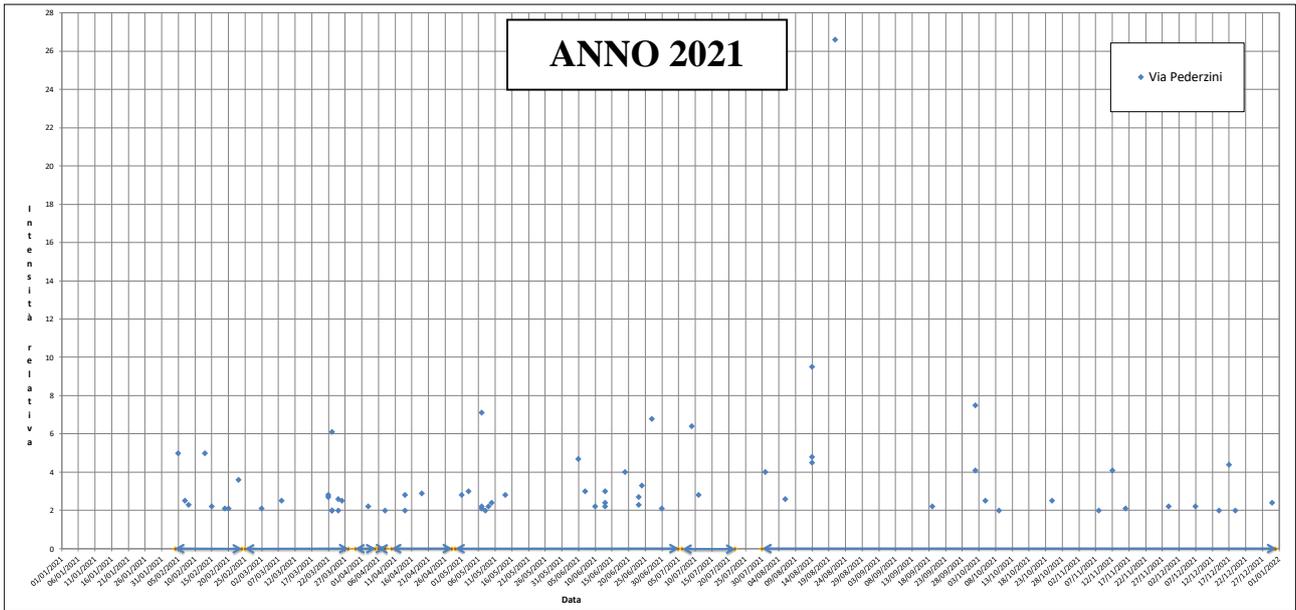
**Fig. 4.** Grafico dell'andamento nel tempo (dal 1 gennaio 2018 al 31 dicembre 2018) dei periodi con intensità relativa dell'odore pari o superiore a 2. Le frecce orizzontali sull'ascissa rappresentano gli intervalli temporali in cui la strumentazione Pen3Meteo ha registrato in continuo.



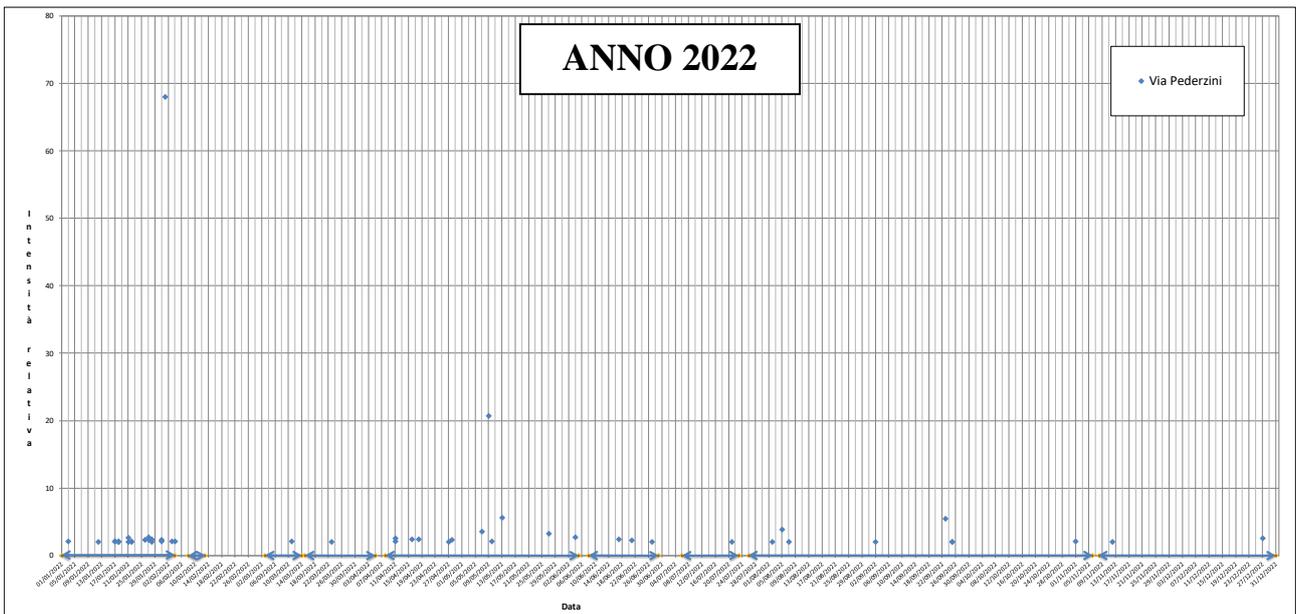
**Fig. 5.** Grafico dell'andamento nel tempo (dal 1 gennaio 2019 al 31 dicembre 2019) dei periodi con intensità relativa dell'odore pari o superiore a 2. Le frecce orizzontali sull'ascissa rappresentano gli intervalli temporali in cui la strumentazione Pen3Meteo ha registrato in continuo.



**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.



**Fig. 8.** Grafico dell'andamento nel tempo (dal 1 gennaio 2022 al 31 dicembre 2022) 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.

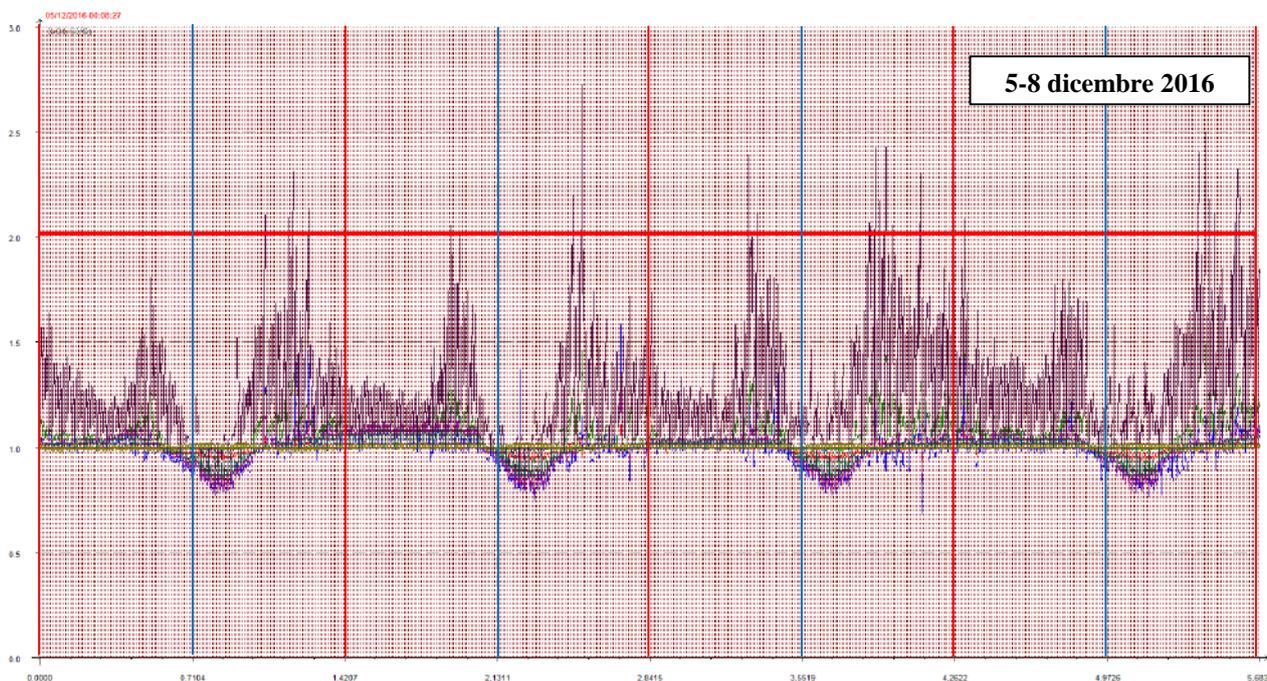
I grafici (compreso quello di figura 12) mostrano per i periodi di acquisizione, il diradarsi della molestia dopo l'entrata in funzione, a fine marzo 2017, del sistema di abbattimento odori dell'azienda Sandoz IP (oggi Suanfarma S.p.A), pur non essendo mancati momenti in cui il fastidio era tornato a 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 dal 2019 ad oggi.

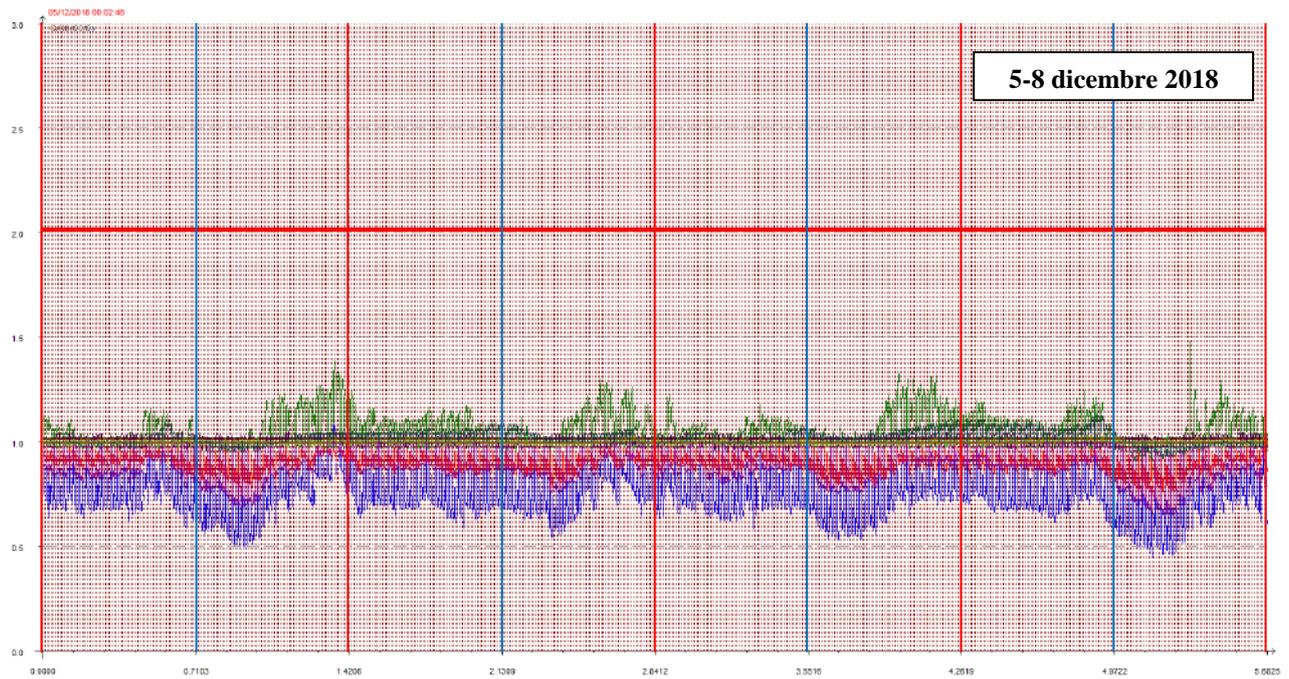
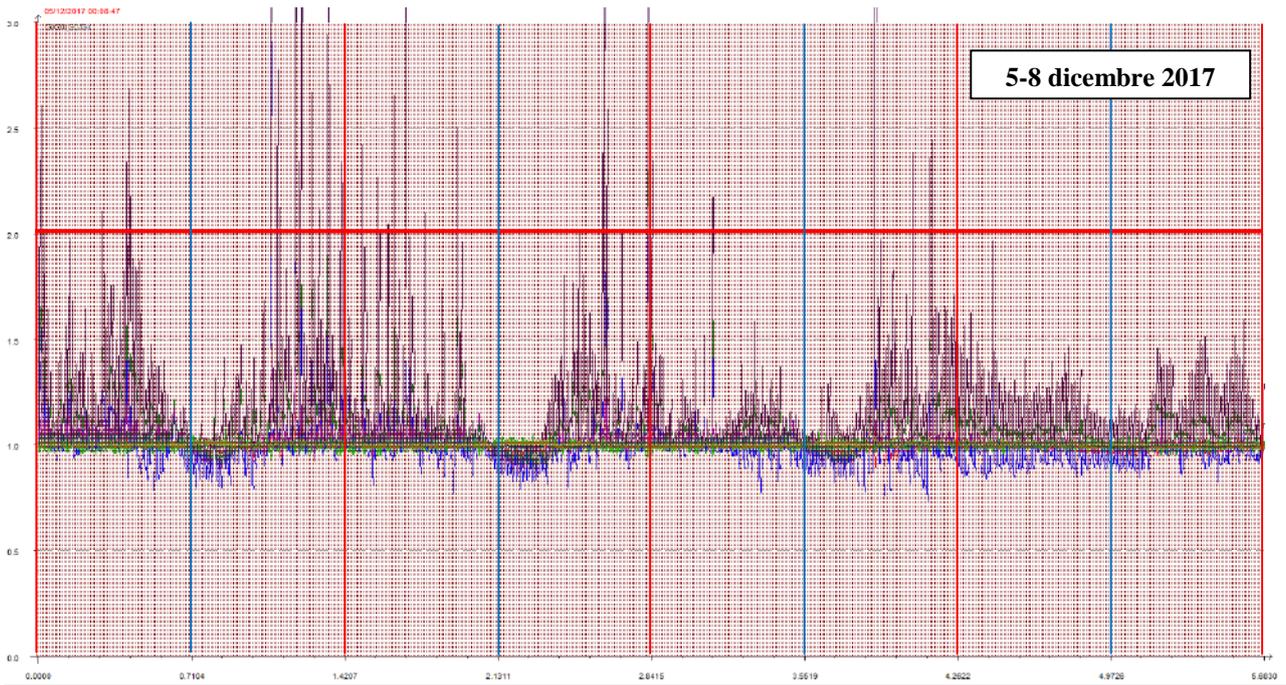
Nel corso di quest'anno sono stati registrati dalla strumentazione 50 casi con odori al di sopra della soglia relativa 2, con una frequenza decisamente maggiore a gennaio (19 episodi). Questa soglia è stata ritenuta significativa e rappresentativa di condizioni di sicura molestia, ciò non di meno si 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.

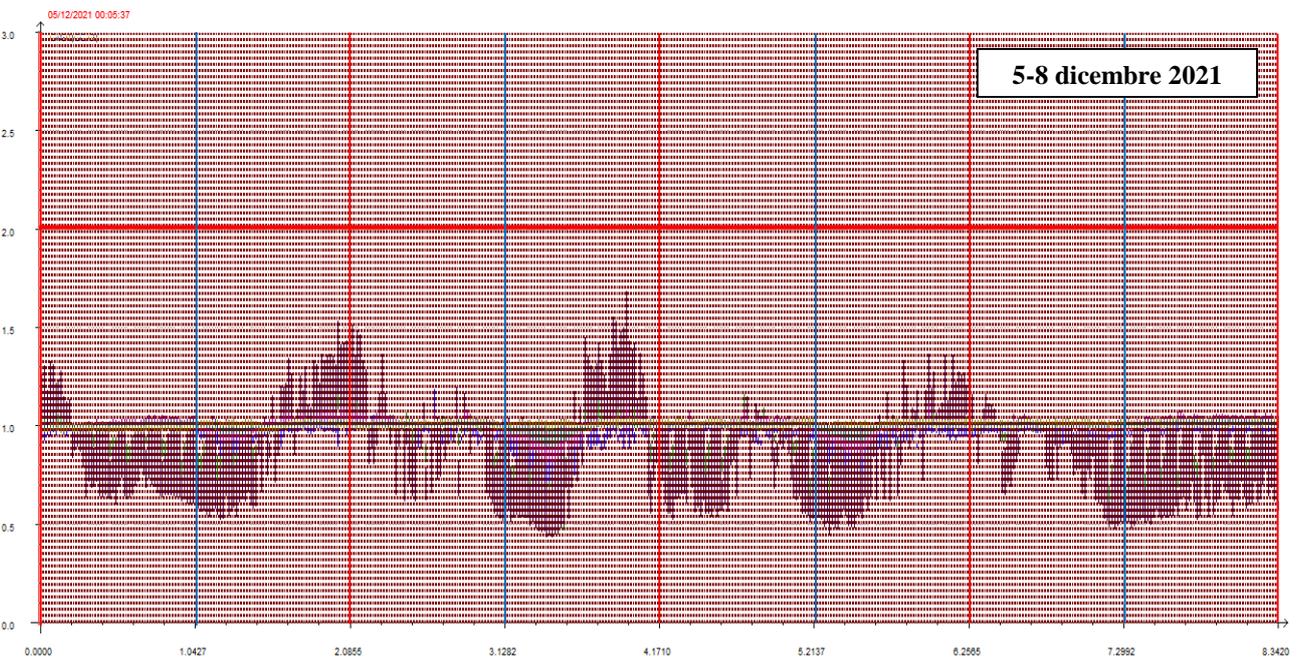
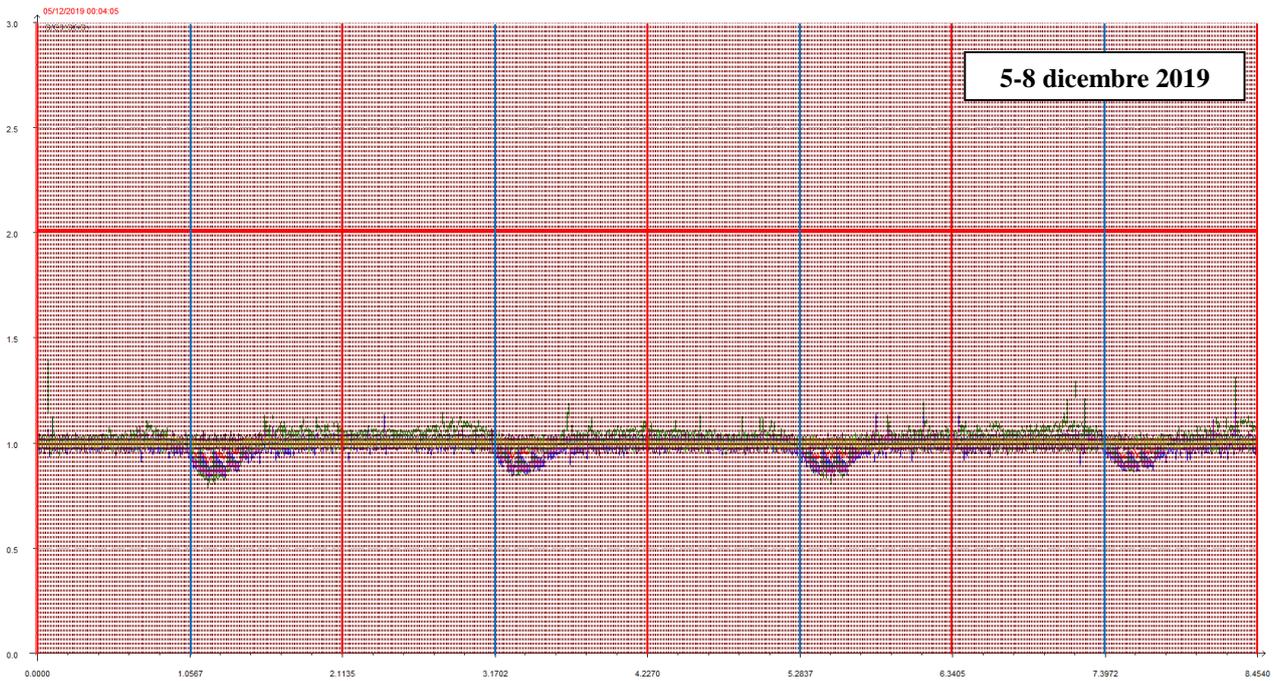
È doveroso ricordare che nulla si può dire dei momenti in cui il naso elettronico non è stato operativo, o per manutenzione o per problemi tecnici, i cui intervalli temporali sono facilmente individuabili nel grafico di figura 8 dove le frecce orizzontali sull'asse delle ascisse sono interrotte.

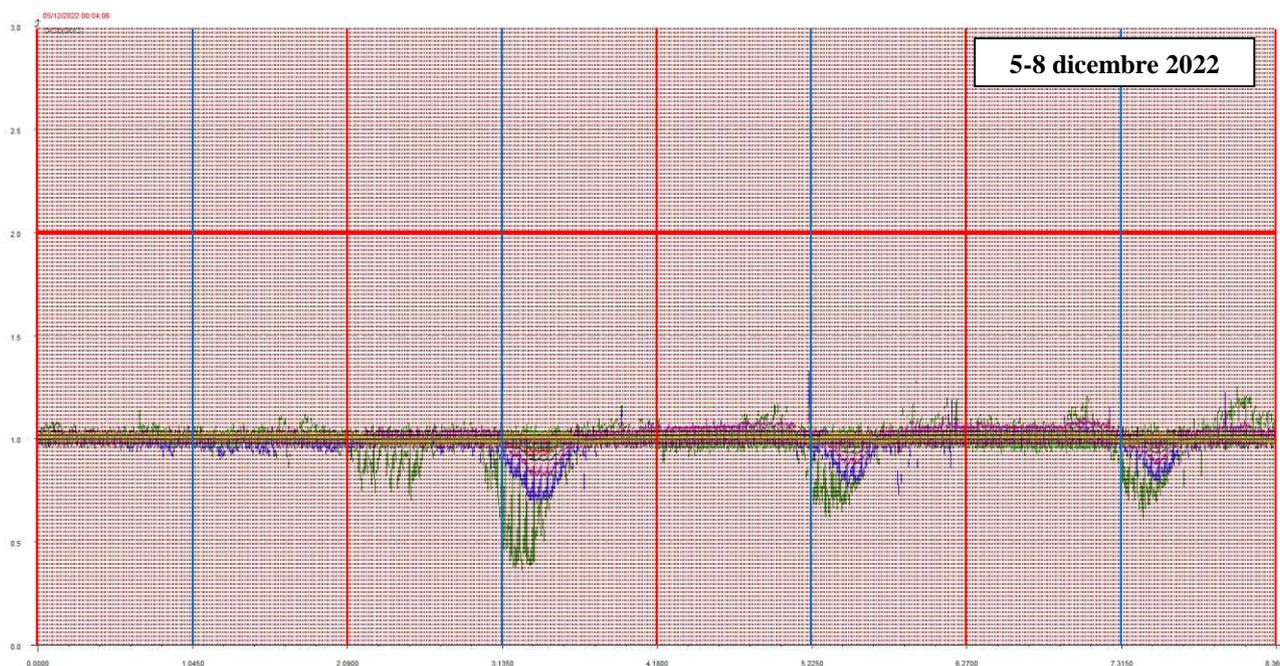
Si riporta di seguito un confronto fra le misurazioni degli odori (fig. 9) in quattro analoghe finestre temporali nelle giornate dal 5 all'8 dicembre degli anni che vanno dal 2016 al 2022, quale esempio di quanto la situazione in termini di odore nella zona indagata sia molto migliorata negli ultimi anni<sup>2</sup>. 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 8 e in figura 13.



<sup>2</sup> 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 figura 9 non è riportato il grafico relativo al periodo 5-8 dicembre 2020.







**Fig. 9.** A confronto, a titolo di esempio, i sei grafici relativi agli anni che vanno dal 2016 al 2022 (escluso il 2020) dell'intensità relativa di odore registrata dal naso elettronico nei medesimi giorni, ossia dal 5 all'8 dicembre<sup>3</sup>.

Guardando infine al complesso dei dati rilevati nel corso del 2022 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 collaboratori 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.

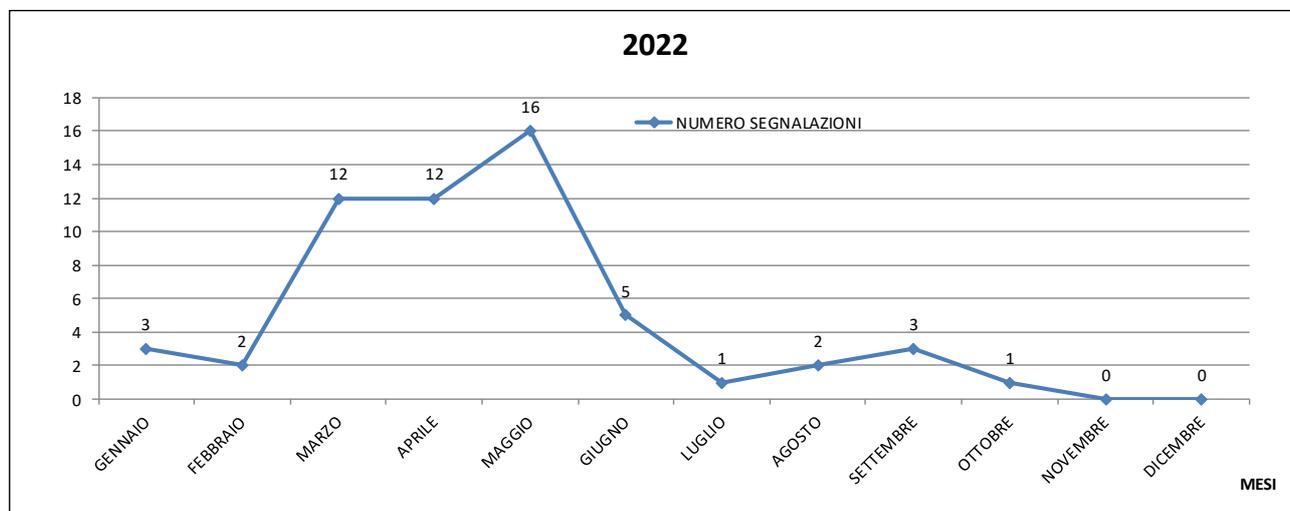
Come per il passato si sono prese in considerazione anche le eventuali comunicazioni pervenute alla Fondazione MCR per tramite dell'Ufficio Ambiente del Comune di Rovereto sebbene, nel corso dell'anno, non siano giunte altre informazioni puntuali oltre a quelle dei collaboratori sopra detti (in tabella 1 quelle dell'ultima parte del 2022).

Nel corso del 2022 le finestre temporali comprendenti le comunicazioni dei nasi umani sono sempre state interessate anche dalle registrazioni in continuo del naso elettronico.

In totale nel 2022 si sono avute 57 comunicazioni da parte dei cittadini collaboratori. Dal grafico di figura 10 è possibile notare come sia stato avvertito un maggiore fastidio nei mesi primaverili da marzo a maggio, dove si sono concentrate quasi i tre quarti delle segnalazioni. Fastidio che poi è andato decisamente a smorzarsi nei mesi successivi. Alla luce di questi dati, l'anno 2022 risulta essere

<sup>3</sup> 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.

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. 12).



**Fig. 10.** Grafico della frequenza delle segnalazioni dei cittadini di Lizzana (e dintorni) coinvolti nel progetto di monitoraggio ambientale per ogni mese del 2022.

#### Legenda segnalatori

#### Legenda intensità odore

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

1	percepibile /distinguibile
2	forte
3	molto forte
4	fortissimo

Data	ID	Ora iniziale	Ora finale	Intensità	Note
1-31/07/2022	6				Nulla
1-31/07/2022	8				L'unico evento da segnalare è stato il 13 luglio : al mattino dalle 6 alle 9 si sentiva odore di fumo per l'incendio di Nago. Per il resto non ho sentito odori particolari.
1-31/07/2022	10				Non ho da segnalare odori nel mese di luglio.
1-31/07/2022	11				
14/07/22	4	pomeriggio			L'unico episodio segnato è il 14 luglio pomeriggio brevi zaffate
1-31/08/2022	6				Nulla da segnalare anche per ferie personali
1-31/08/2022	8				Nella mia zona non ho rilevato odori ad agosto
1-31/08/2022	11				Non ho segnalazioni
02/08/22	4	18:00		3	
28/08/2022	10	19:00	19:15		Zaffate con forte odore di fogna e poi di sostanze chimiche fino alle 19:15
1-30/09/2022	8				Nulla da segnalare per il mese di settembre

1-30/09/2022	10				In settembre non ho rilevato odori
1-30/09/2022	11				Non ho segnalazioni
08/09/22	6	08:10		3	Solita puzza...; pioggia forte
13/09/22	6	14:00	17:00	2	Solita puzza...; sole, ventilato
20/09/22	4	18:00		3	Assente dal 1 al 12 settembre
1-31/10/2022	6				Nulla da segnalare
1-31/10/2022	8				Anche per ottobre non ho segnalazioni da fare
1-31/10/2022	10				Non ho sentito odori in ottobre
1-31/10/2022	4				Non ho rilevato odori a casa
24/10/22	11	19:00	21:00	3	Marcio
1-30/11/2022	6				Nulla da segnalare
1-30/11/2022	4				Non ho nessuna segnalazione. Sono stata assente dal 6 al 14 novembre.
1-30/11/2022	8				Dal 15 novembre si sentono gli odori della combustione di legna specie al mattino e alla sera. Per il resto odori particolari no.
1-30/11/2022	10				Non ho rilevato odori in novembre
1-30/11/2022	11				In realtà non una grave, però un sottofondo di plastica bruciata praticamente sempre presente, peggiore dal pomeriggio verso notte. Qualcuno brucia legna verniciata o sporca.
1-31/12/2022	6				Nulla da segnalare
1-31/12/2022	4				Per quanto mi riguarda non ho nessuna segnalazione
1-31/12/2022	8				Anche a dicembre non ho da segnalare particolari odori o altro, gli unici odori sono quelli delle emissioni di chi scalda a legna...
1-31/12/2022	10				non ho rilevato odori in dicembre
1-31/12/2022	11				Non ho una data peggiore delle altre, ma sta diventando insopportabile la puzza stagnante di combustione di legname strano che rende impossibile stendere o fare prendere aria a indumenti sui poggiali, perché la certezza è ritirarli inservibili.

**Tab. 1.** Elenco delle segnalazioni dei nasi umani da luglio a dicembre 2022. Per il periodo qui considerato non sono pervenute indicazioni ulteriori tramite l'Ufficio Ambiente del Comune di Rovereto.

Da luglio a dicembre 2022 il monitoraggio della qualità dell'aria in termini di molestia odorigena è stato svolto dalla strumentazione Pen3Meteo in modo quasi continuo (fig. 8).

Nel corso di questo periodo di tempo ha rilevato 11 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 abbastanza elevato e in orari diurni. Le segnalazioni di odore molesto comunicate dai cittadini di Lizzana e dintorni, in tale semestre, sono state invece 7.

Il numero degli eventi sopra soglia rilevati dalla macchina in tutto il 2022 è praticamente comparabile a quello delle indicazioni dei nasi umani (50 vs 57). 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 agli anni 2021 e 2022. 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 al 2016 e al 2017 (figg. 11, 12 e 13).

Nel corso del 2022 solo due segnalazioni dei nasi umani hanno trovato una corrispondenza con i rilievi del naso elettronico nonostante la forte intensità di alcune misurazioni dello strumento, come ad esempio quella del primo febbraio alle ore 20:12 dove l'intensità è arrivata a 68 oppure quella del 9 maggio alle ore 16:23 dove ha raggiunto il valore di 20,7. Inoltre, solamente 2 eventi odorigeni sono stati rilevati contemporaneamente da almeno due cittadini (uno a marzo e uno ad aprile) e questo significa che la gran parte degli 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 luogo 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 le esalazioni, 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 in 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 all'interno dell'insieme delle 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 degli ultimi anni 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, come detto, 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 quattro<sup>4</sup> 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 11, 12 e 13 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 bassi<sup>5</sup> (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 eventi odorigeni segnalati dai cittadini negli ultimi anni sia stata generalmente meno elevata nel periodo invernale. Tale caratteristica sembra essere confermata, anche se in modo meno marcato, pure dalle misurazioni della macchina, ad eccezione però delle rilevazioni effettuate nel 2022, quando a gennaio vi è stata invece una serie episodi intensi piuttosto elevata che, considerando solo i dati della strumentazione, lo avrebbero reso all'opposto, il mese più problematico di quest'anno (fig. 13).

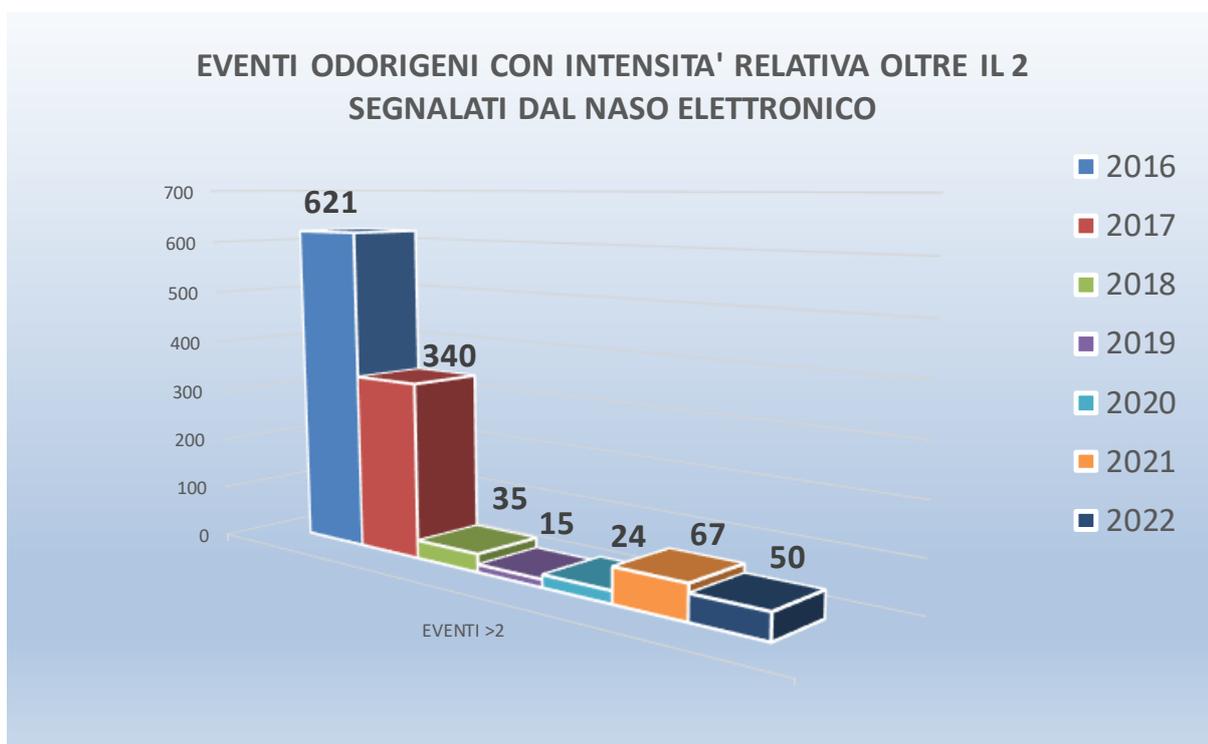
Altra osservazione degna di nota e che sembra rendere ragione di un netto miglioramento rispetto ai primi anni, riguarda l'anno di inizio del monitoraggio, ossia il 2016. Se infatti si esaminano le rilevazioni, sia elettroniche che umane per quell'anno, si può notare che, pur essendo cominciate solamente tra maggio e luglio, queste hanno fornito una quantità di segnalazioni, in pochi mesi, decisamente superiore a quella di tutti gli anni successivi. (figg. 11 e 12).

Da notare come la maggior parte degli eventi odorosi (50) sia stato segnalato dalla cittadinanza nei primi sei mesi dell'anno mentre solo 7 sono riportati nel secondo semestre.

---

<sup>4</sup> Approssimando e semplificando molto il concetto.

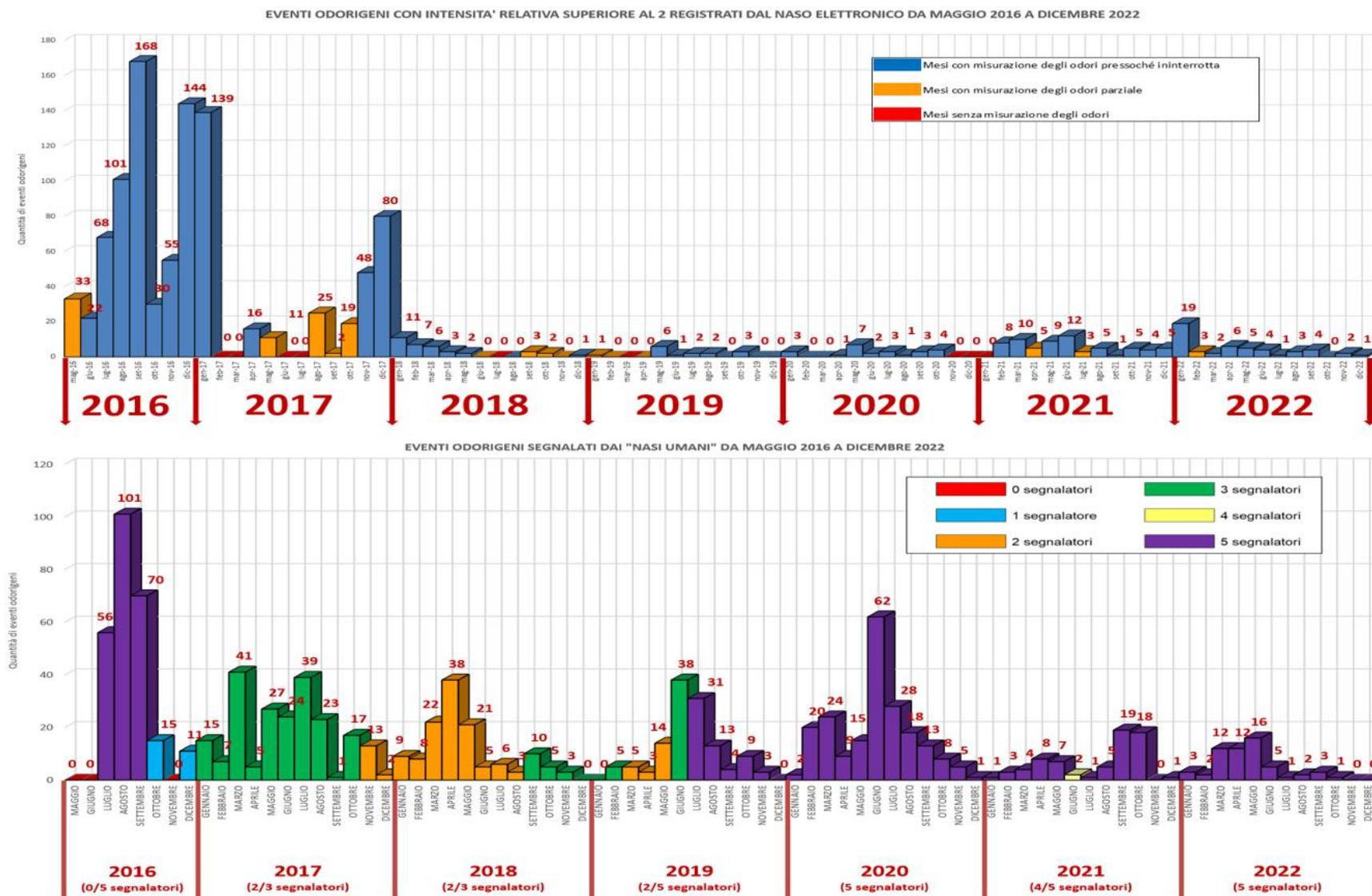
<sup>5</sup> Oltre alla già specificata ipotesi della maggiore sensibilità dei nasi umani, bisogna inoltre tenere conto che è solo da metà novembre del 2019 che i segnalatori umani sono stabilmente in numero di cinque, mentre prima di allora erano sempre stati due o tre (tranne che per il 2016 quando 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. 11.** Totale degli eventi odorigeni con intensità relativa superiore al 2 individuati dal naso elettronico dal 2016 al 2021.



**Fig. 12.** Totale degli eventi odorigeni segnalati dai nasi umani dal 2016 al 2022.



## *Manutenzione, sopralluoghi e individuazione di nuove sorgenti odorigene*

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 odorigene, 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 odorigene 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 odorigene<sup>6</sup> a periodi di monitoraggio ambientale. Nel corso del 2022 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).

---

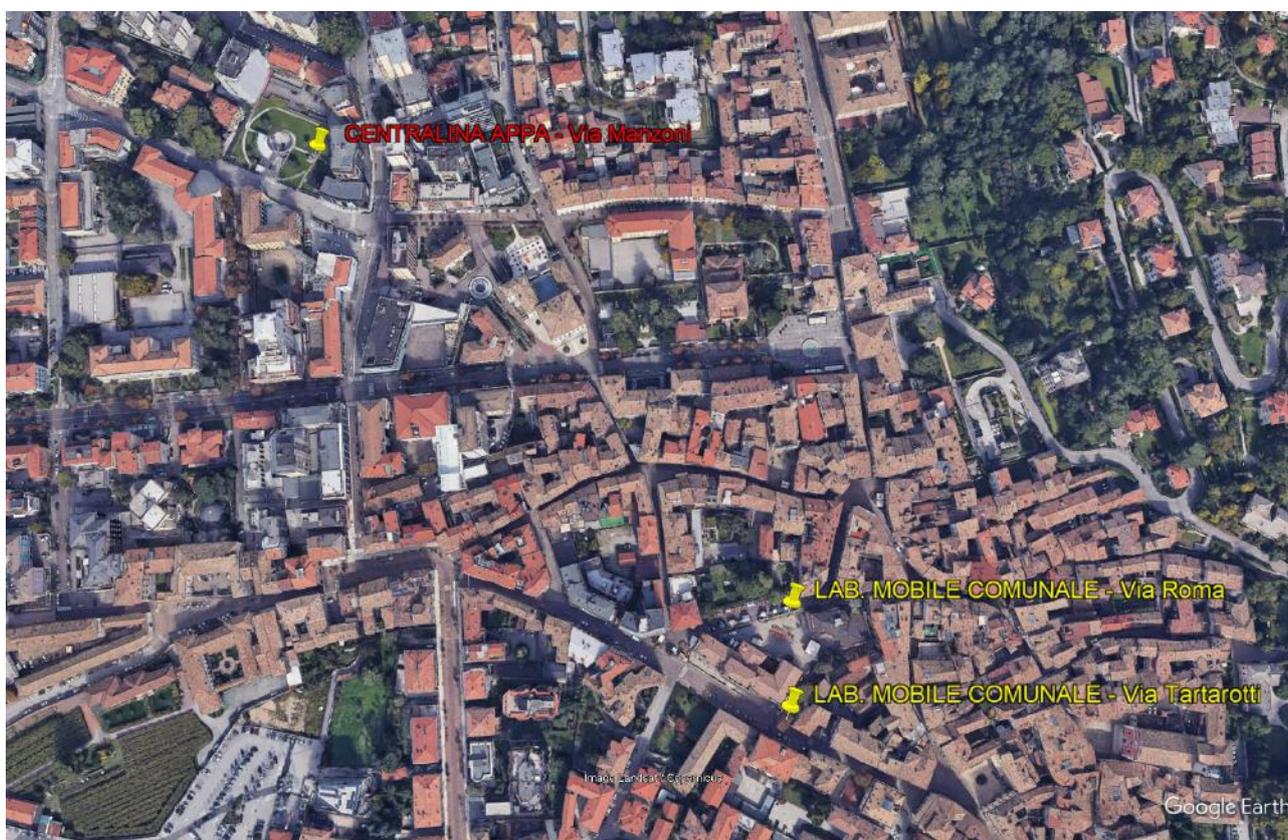
<sup>6</sup> Comunque molto brevi di due o tre giorni.

## 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 2022 attraverso l'utilizzo della strumentazione per il campionamento delle polveri sottili disponibile sul laboratorio mobile comunale ed effettuando una nuova campagna di biomonitoraggio per tramite di licheni epifiti, espianati ed esposti per i primi mesi del 2022.

### *Rilevazione delle polveri sottili*

Nel corso del 2022 sono state svolte due campagne invernali sporadiche di rilevazione delle polveri sottili, della durata di poco più di due settimane ciascuna nel cortile dell'IPRASE (Istituto Provinciale per la Ricerca e la Sperimentazione Educativa) a Rovereto<sup>7</sup>.



**Fig. 14.** Mappa del territorio di Rovereto con indicati i luoghi di stationamento del laboratorio mobile comunale nel corso del 2022 e quello della centralina di monitoraggio della qualità dell'aria di APPA.

In tutti i periodi di misura si sono utilizzati filtri in microfibra di quarzo e nessuna testa di campionamento (es. PM 10 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 compiere anche il paragone con la concentrazione di polveri sottili (PM10) rilevata, nelle medesime finestre

<sup>7</sup> Era prevista una terza campagna di campionamento per l'anno 2022 che però non si è potuta svolgere a causa di un problema tecnico della strumentazione.

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/>.

In figura 14 sono indicati i luoghi di stazionamento del laboratorio mobile all’interno della zona a traffico limitato (ZTL) del centro di Rovereto. In particolare dal 28 gennaio all’11 febbraio ha lavorato nel cortile dell’edificio IPRASE in una postazione prospiciente a via Tartarotti, mentre dal 15 febbraio al 2 marzo ha campionato, sempre nel cortile IPRASE, ma in una zona al confine con via Roma.

Come osservabile nelle figure 15 e 17, il confronto tra i dati raccolti dalla Fondazione MCR a Rovereto e quelli di APPA di via Manzoni (questi ultimi riferiti però alle sole PM10) ha mostrato una buona concordanza nei trend, con i valori di concentrazione della Fondazione MCR quasi sempre superiori, trattandosi di misure di polveri totali e non solamente delle PM10, come per APPA. Nelle figure 16 e 18 sono riportati invece i confronti tra le misurazioni delle PM10 di APPA in via Manzoni e i valori delle PM10 ricavati, rispettivamente per via Tartarotti e via Roma, ipotizzando che questi rappresentino il 50% del totale delle polveri (TSP).

Infatti Secondo l’EPA (*United States Environmental Protection Agency*) le PM10 sarebbero in media circa la metà delle polveri totali (TSP)<sup>8</sup>, anche se questo rapporto può variare molto sia giornalmente che a seconda del contesto indagato, potendo arrivare a valori sensibilmente superiori o minori.

In generale esiste una dipendenza dalle condizioni meteorologiche, date non solo dalla pioggia ma anche dalla direzione e velocità del vento, e dalla pressione.

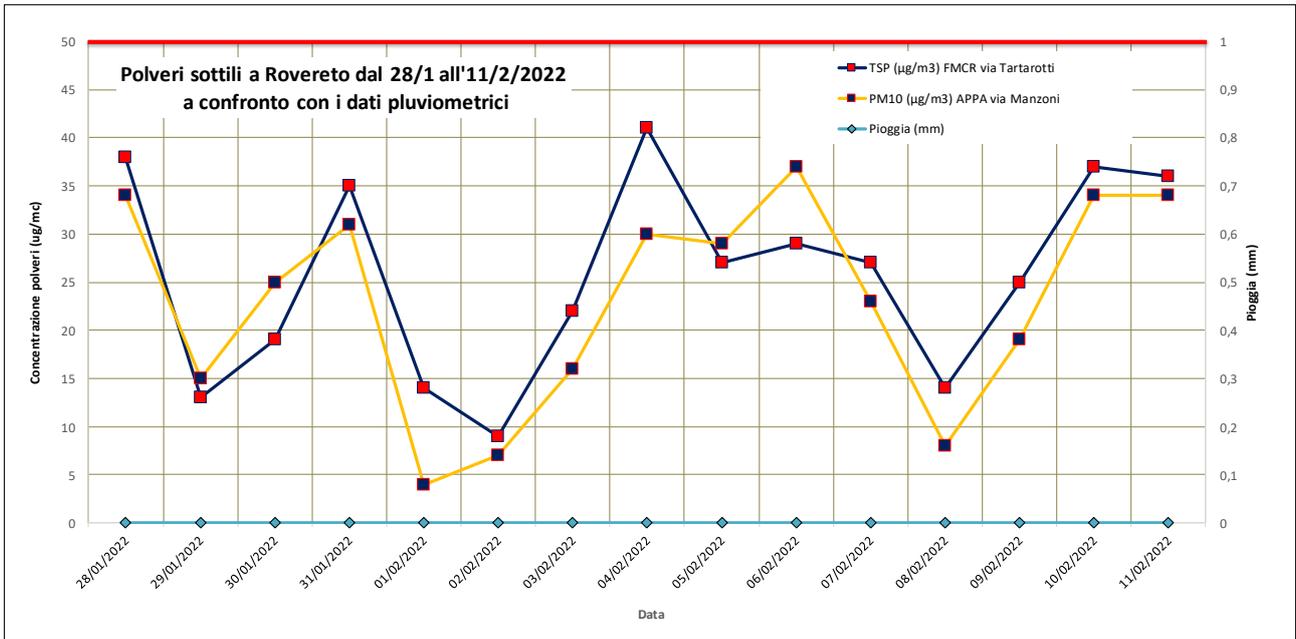
Gli sporadici eventi meteorici che si sono verificati nel corso dei giorni di monitoraggio si sono ripercossi nella concentrazione delle polveri atmosferiche determinandone una certa diminuzione.

Di seguito l’andamento grafico (figg. 15-18) delle concentrazioni di particolato rilevate nelle due sessioni di misura (espresso in microgrammi di polveri per metro cubo di aria) in relazione con gli eventi meteorici<sup>9</sup>.

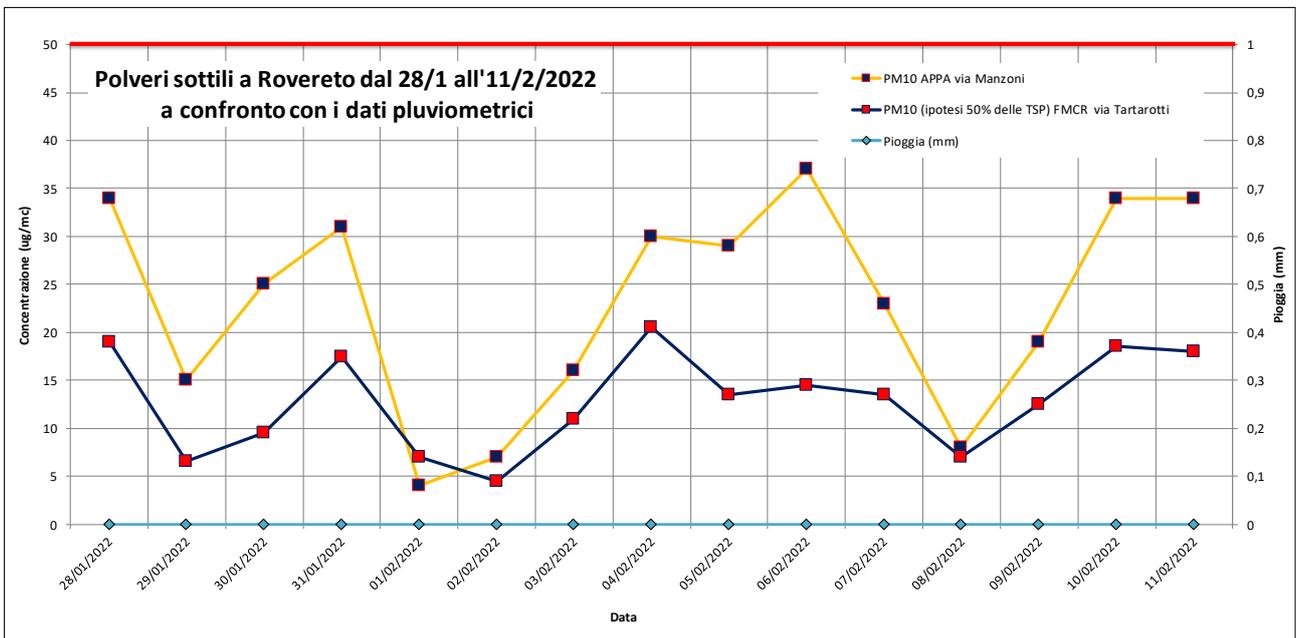
---

<sup>8</sup> “Network design and optimum site exposure criteria for particulate matter” EPA May 1987.

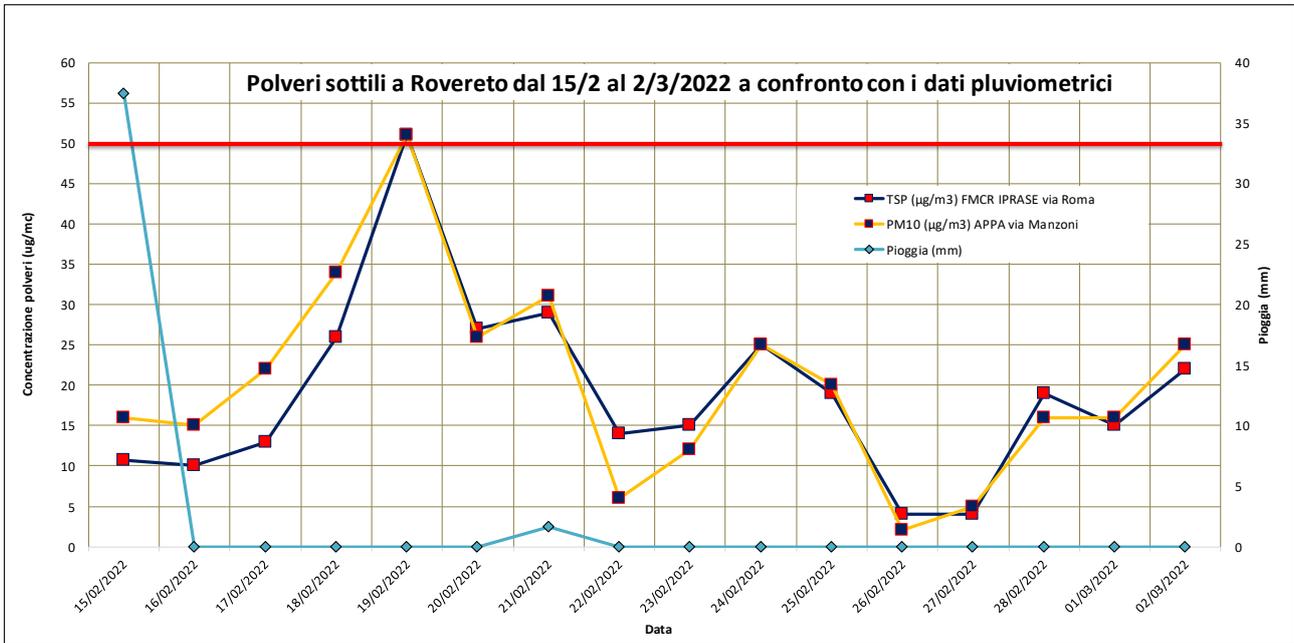
<sup>9</sup> Dati stazione T0147 di Rovereto tratti dal sito di Meteotrentino al link: <http://storico.meteotrentino.it/web.htm>



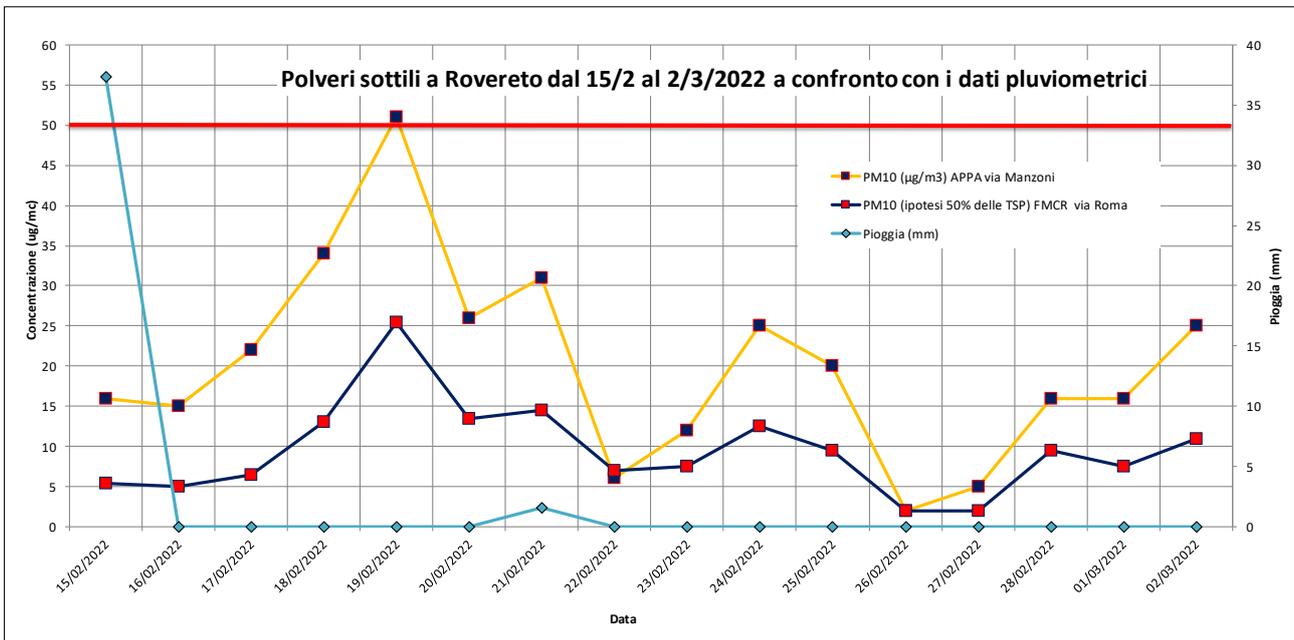
**Fig. 15.** Grafico delle rilevazioni giornaliere delle polveri totali (TSP) effettuate dalla strumentazione del Comune di Rovereto in via Tartarotti a confronto con le rilevazioni di PM10 eseguite dalla centralina di APPA in via Manzoni tra il 28 gennaio e l'11 febbraio 2022. La linea rossa in alto indica la concentrazione di PM10 da non superare secondo la normativa (D.Lgs. 155/2010) sulle 24 h di 50 µg/m<sup>3</sup> per la protezione della salute umana.



**Fig. 16.** Grafico delle ipotetiche quantità giornaliere di PM10 raccolte dalla strumentazione del Comune di Rovereto in via Tartarotti (secondo l'EPA le quantità di PM10 rappresenterebbero circa il 50% delle TSP) a confronto con le rilevazioni di PM10 eseguite dalla centralina di APPA in via Manzoni tra il 28 gennaio e l'11 febbraio 2022. 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/m<sup>3</sup> per la protezione della salute umana.



**Fig. 17.** Grafico delle rilevazioni giornaliere delle polveri totali (TSP) effettuate dalla strumentazione del Comune di Rovereto in via Roma a confronto con le rilevazioni di PM10 eseguite dalla centralina di APPA in via Manzoni tra il 15 febbraio e il 2 marzo 2022. 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.



**Fig. 18.** Grafico delle ipotetiche quantità giornaliere di PM10 raccolte dalla strumentazione del Comune di Rovereto in via Roma (secondo l'EPA le quantità di PM10 rappresenterebbero circa il 50% delle TSP) a confronto con le rilevazioni di PM10 eseguite dalla centralina di APPA in via Manzoni tra il 15 febbraio e il 2 marzo 2022. 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.

Il valore giornaliero medio di polveri totali (TSP), rilevato nelle due settimane di controllo in via Tartarotti tra gennaio e febbraio, è stato di  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e invece, in via Roma tra febbraio e marzo, è stato di  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La Norma (D.Lgs. 155/2010) indica come limiti da non superare per la frazione delle PM10 per la protezione della salute umana, i  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sulle  $24 \text{h}^{10}$ , e i  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  come valori medi annui.

Si noti che i valori delle polveri totali rilevate sono già ampiamente al di sotto delle concentrazioni di allarme riferite alle sole PM10 e che quindi le quantità di queste ultime saranno, ovviamente, ancora più basse, forse, come già detto in precedenza, attorno al 50% in meno.

Sulla base di tale ipotesi è stato quindi possibile calcolare a grandi linee il valore di concentrazione delle PM10 sulle due strade nei rispettivi periodi di campionamento, determinando per via Tartarotti, un valore medio attorno ai  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mentre per via Roma di circa  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Ciò significa che, nelle zone indagate, per i periodi indicati, la qualità dell'aria, in termini di polveri sottili, era ampiamente all'interno delle indicazioni normative.

A riprova delle buone condizioni nei periodi monitorati, se si confrontano le misurazioni effettuate a Rovereto con quelle raccolte presso una località remota quale è il Monte Gaza<sup>11</sup> in Valle dei Laghi ad una quota di 1600 m s.l.m., si può osservare come, nei periodi considerati, la concentrazione media di PM10 non sia stata molto dissimile da quella estrapolata per via Tartarotti ( $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  vs  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e soprattutto da quella in via Roma dove la concentrazione media calcolata ricalcherebbe esattamente quella che si aveva in alta quota di  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Se ne può facilmente trarre la conclusione che, nei periodi indagati nella zona a traffico limitato (ZTL) la situazione sia stata particolarmente buona, e questo benché il monitoraggio sia stato effettuato in un periodo dell'anno (quello invernale) che è notoriamente il più pesante per la concentrazione atmosferica delle polveri sottili.

La centralina di APPA in via Manzoni, in una zona quindi abbastanza trafficata, negli stessi periodi di tempo ha raccolto invece quantità di polveri decisamente superiori. In particolare tra il 28 gennaio e il 15 febbraio ha rilevato una concentrazione media di PM10 di  $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (contro i  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  calcolati per via Tartarotti), mentre tra il 15 febbraio e il 2 marzo di  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (contro i  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  calcolati per via Roma). Pur trattandosi anche nel caso di via Manzoni di valori decisamente contenuti, è però evidente la netta differenza tra una zona del centro cittadino senza limiti alla viabilità e una zona sempre centrale come quella della ZTL, dove invece il traffico veicolare è fortemente ridotto come in via Tartarotti<sup>12</sup> oppure dove è proprio vietato come in via Roma<sup>13</sup>.

Dal confronto tra le misure effettuate dalla centralina di rilevamento di APPA dislocata in via Manzoni<sup>14</sup> con quelle effettuate dal laboratorio mobile comunale nella zona a traffico limitato di Rovereto, si è potuto constatare come le concentrazioni giornaliere delle polveri abbiano seguito un trend molto simile tra loro seppur con valori assoluti diversi (come atteso) in relazione al luogo di campionamento (figg. 15-18). Al netto dell'osservazione, già più volte evidenziata, di come la centralina di APPA in via Manzoni esegua il campionamento delle PM10, mentre il laboratorio

<sup>10</sup> Da non superarsi per più di 35 volte in un anno.

<sup>11</sup> Dati stazione di Monte Gaza tratti dal sito di APPA al link: <https://bollettino.appa.tn.it/aria/>

<sup>12</sup> Dove hanno accesso solo i residenti e i veicoli dei commercianti in occasione del mercato del martedì.

<sup>13</sup> Tranne che per i residenti.

<sup>14</sup> Dati stazione di via Manzoni a Rovereto tratti dal sito di APPA al link: <https://bollettino.appa.tn.it/aria/>

mobile comunale quello delle TSP, e al netto dell'osservazione di come il periodo di confronto si limiti ad un totale di circa un mese, è stato comunque possibile fare un paragone tra le misurazioni effettuate per avere una visione della distribuzione e dell'andamento nel tempo delle polveri entro i confini cittadini.

### *Rilevazione dei metalli pesanti*

In relazione ai vari campionamenti effettuati nel corso del 2022, 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 sia in via Tartarotti sia in via Roma, per una selezione di metalli pesanti potenzialmente dannosi per la salute o per l'ambiente (ecotossici)<sup>15</sup>. 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 (per Al, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, V, Zn) e in nanogrammi su metrocubo (per As, Cd, Ni, Hg).

I metalli pesanti sono in genere presenti nelle polveri, in particolare nelle PM10 e in misura ancora maggiore nelle PM2,5 (che per gran parte originano da processi di combustione). Le possibili sorgenti di contaminazione da metalli pesanti nell'ambiente in generale e nella pedosfera in particolare possono essere naturali o antropiche. La principale fonte naturale è rappresentata dal substrato geologico esistente, mentre tra le sorgenti d'origine antropica le più rilevanti sono le attività civili ed industriali (sorgenti di emissione puntiformi o lineari), e le pratiche agricole (sorgenti di emissione diffuse).

I valori di riferimento per la maggior parte dei metalli pesanti qui monitorati sono indicati nelle "Air Quality Guidelines" dell'Organizzazione Mondiale per la Sanità (OMS). Questi 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 (due in tutto). Questo significa che si ha una visione parziale dei fenomeni in studio che però può essere comunque indicativa della situazione.

Guardando perciò ai dati di riferimento citati si può osservare come, in generale, i valori giornalieri dei vari metalli pesanti presenti nell'aria siano stati solitamente ampiamente al di sotto dei limiti di concentrazione media annua raccomandati dall'OMS per la protezione della salute umana. Questo è avvenuto sia su via Roma che su via Tartarotti, andando a rientrare sempre in quantità che sarebbero state tipiche di zone remote, tranne che per Zinco, Vanadio e Nichel che, in via Tartarotti, hanno invece avuto concentrazioni medie proprie dei centri urbani.

Il Nichel in particolare, il 28 gennaio e soprattutto l'11 febbraio, è andato ad aumentare in maniera considerevole rispetto alle altre giornate e l'11 febbraio è salito ben al di sopra dei valori tipici delle

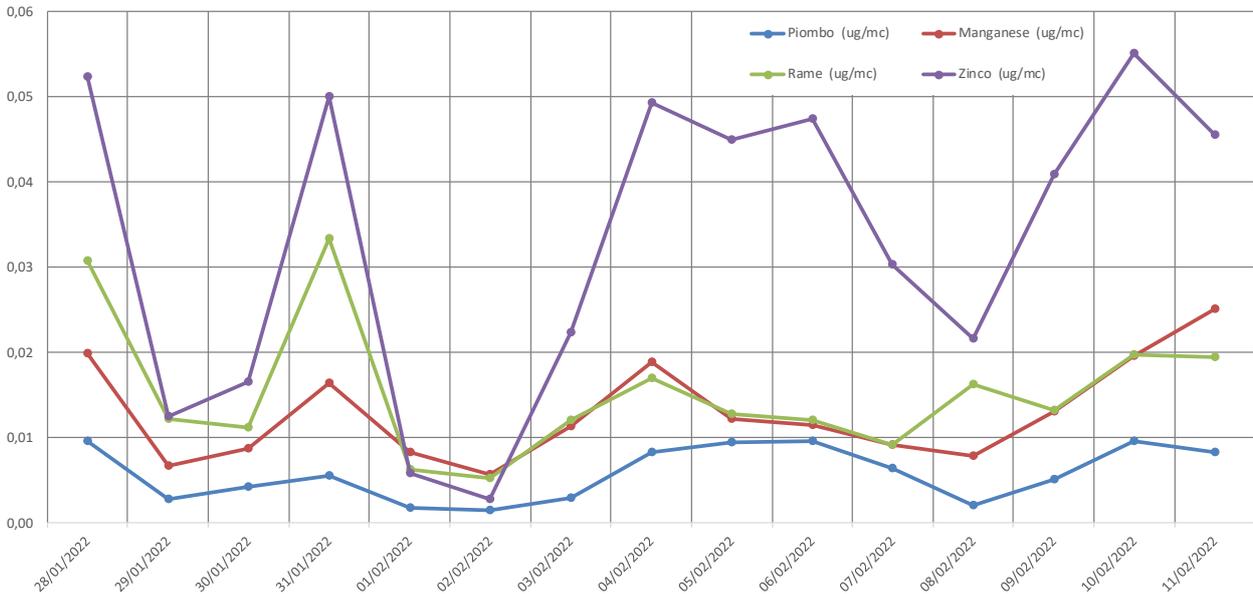
---

<sup>15</sup> Come per il campionamento delle polveri sottili, anche in questo caso erano state previste le analisi dei metalli pesanti per un'ulteriore campagna di monitoraggio per l'anno 2022, che come già detto, non si è potuta svolgere a causa di un problema tecnico alla strumentazione.

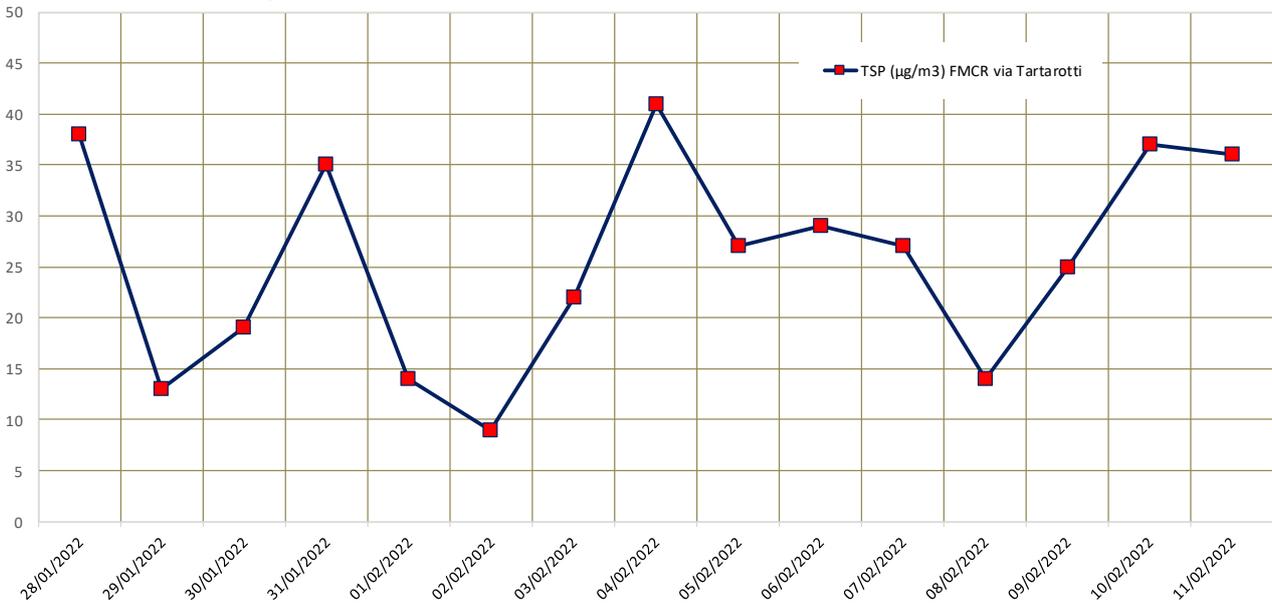
aree cittadine (fig. 26). Il dato medio nelle due settimane di campionamento va però a riportare la concentrazione entro il range che sarebbe proprio dei centri urbani. Negli stessi giorni anche la concentrazione del cromo è stata piuttosto elevata. C'è da notare che pure in passato si sono registrati eventi simili caratterizzati da uno scostamento contemporaneo abbastanza pronunciato, rispetto alla media del periodo monitorato, della concentrazione sia del cromo sia, soprattutto, del Nichel, come ad esempio il 3 luglio del 2021 a Marco. Il fatto che ciò si sia verificato anche in passato potrebbe far supporre che questo aumento abbia avuto a che fare con un qualche tipo di emissione sporadica che parrebbe coprire un territorio abbastanza ampio e che non sembra necessariamente legato alla quantità di polveri totali in atmosfera.

Attraverso i grafici di figura 19 è possibile notare come le quantità dei diversi metalli pesanti tendano a seguire quello che è l'andamento delle polveri sottili, ossia come a giornate con elevate quantità di particolato in sospensione corrispondano anche maggiori quantità di metalli associati. In parole povere a più polveri sospese corrispondono in proporzione anche più metalli nell'aria (come sembra logico aspettarsi). In figura 19 sono riportati solo alcuni degli elementi pesanti studiati che sono però indicativi di un fenomeno che riguarda anche buona parte degli altri (ma non tutti).

### Andamento di alcuni metalli pesanti in via Tartarotti



### Andamento delle polveri sottili in via Tartarotti



**Fig. 19.** Cortile IPRASE, via Tartarotti a Rovereto. Grafico di confronto tra l'andamento delle concentrazioni giornaliere di Pb, Mn, Cu, Zn in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e quello delle polveri sottili (TSP) tra il 28 gennaio e l'11 febbraio 2022. Si noti la similitudine dei trend.

Nel caso degli aumenti repentini di Nichel e Cromo sopra detti si tratta invece di scostamenti che sembrerebbero essere indipendenti dalla quantità di particolato nell'aria e che non paiono seguire quindi le oscillazioni dettate dalla concentrazione di polveri sottili.

In via Roma tra febbraio e marzo, le quantità di Cromo e Nichel, ma anche di Arsenico e Cadmio, sono spesso state talmente infime da non poter essere rilevate dalla macchina (figg. 25 e 27).

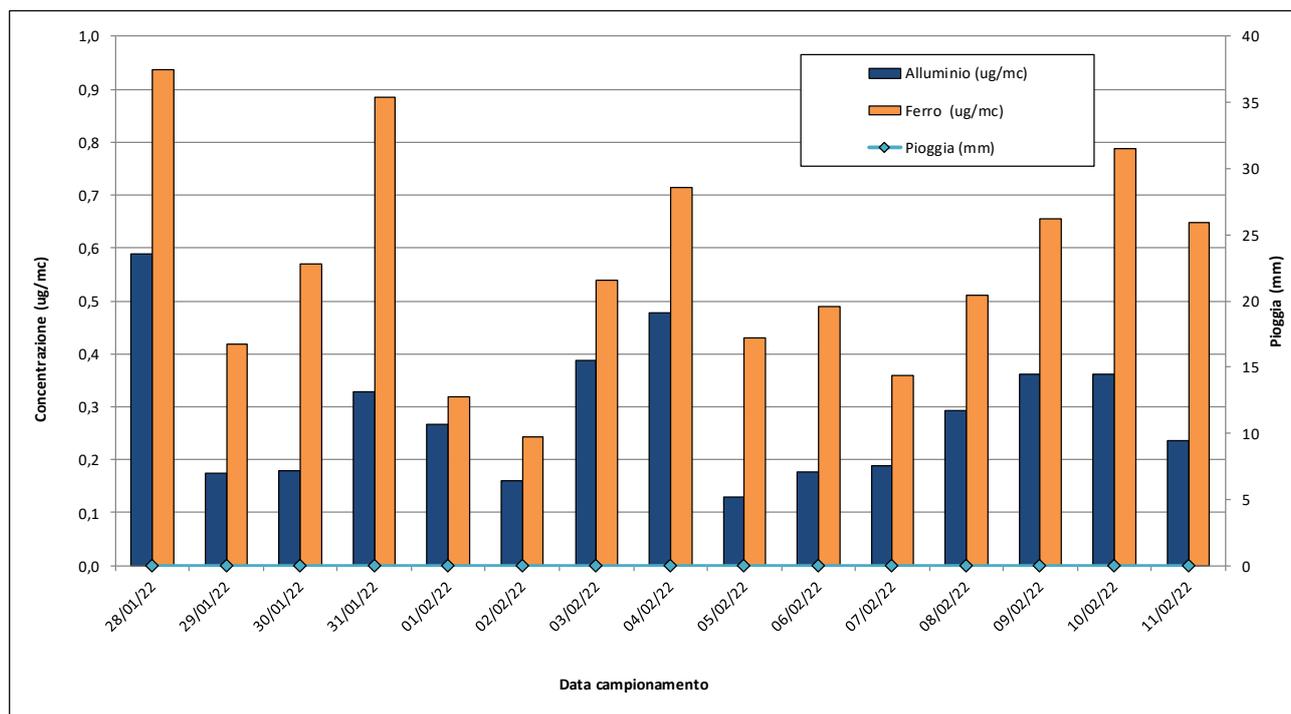
I valori medi di concentrazione di Vanadio (figg. 24-25), per via Roma rientrano nell'intervallo di misure che sarebbero state tipiche di aree remote (secondo l'OMS 0-0,003  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) mentre per quanto riguarda via Tartarotti sarebbero paragonabili a quelle rilevabili in aree urbane. Il Cromo (figg. 24-25) invece è presente in tutti e due i monitoraggi con valori spesso così bassi da non poter essere rilevati dalla strumentazione, tranne che per i sopraccitati momenti in cui si è avuto l'aumento concomitante con il Nichel (in via Tartarotti). In tutti e due i campionamenti perciò il Cromo è risultato essere in media paragonabile a quello presente in località remote (secondo l'OMS 0-0,003  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Anche i valori medi di Manganese e Piombo (figg. 22-23), nei due siti di campionamento, sempre rispetto alle linee guida, sono decisamente inferiori ai dati di riferimento avendo concentrazioni che sarebbero anch'esse caratteristiche di zone remote (secondo l'OMS: Mn 0,01-0,03  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; Pb sotto i 0,15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Rame e Zinco (figg. 22-23), secondo i dati dell'agenzia americana ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) sarebbero invece in quantità tipiche per l'aria ambiente e per quanto riguarda lo Zinco, solo per via Roma, sarebbero anche al di sotto delle medie standard dei centri urbani (ossia sotto i 0,02  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Ferro e Zinco hanno rilevanza tossicologica molto scarsa, non hanno limiti normativi e non sono nemmeno considerati nelle Air Quality Guidelines dell'OMS, rientrano però tra gli elementi che in quantità elevate possono diventare ecotossici così come anche l'Alluminio.

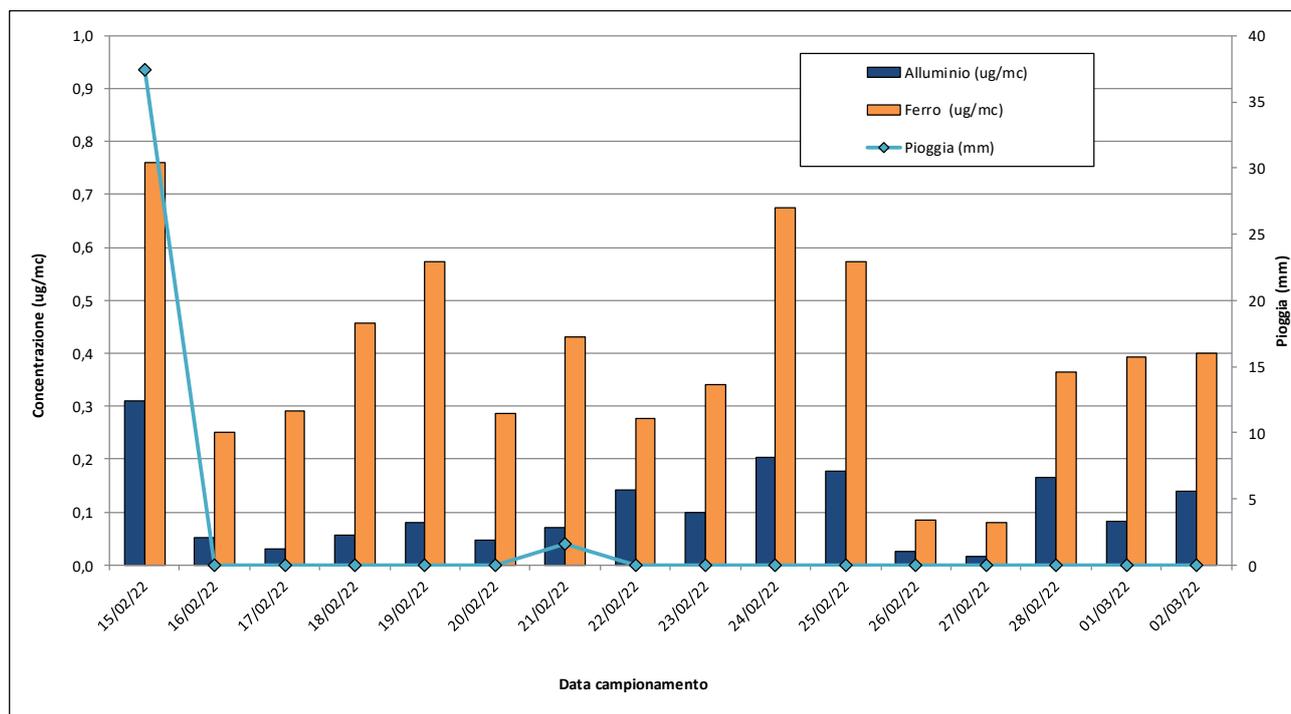
Arsenico e Cadmio (figg. 26-27), spesso in quantità talmente insignificanti da non essere rilevate dalla strumentazione, sono ben lontani dai limiti delle linee guida dell'OMS con valori medi di concentrazione nell'aria molto scarsi che sarebbero più tipici di zone remote in tutti e due i siti monitorati. Per quanto riguarda il Nichel (figg. 26-27) invece, in via Tartarotti, come già detto, si rientra nel range delle aree urbane, mentre in via Roma i dati sono ben al di sotto di questo livello.

Le misure riferite al Mercurio (figg. 26-27) sono abbastanza contenute in entrambe le stazioni di monitoraggio, con valori che potrebbero essere tipici sia di aree remote che di quelle urbane, sempre con quantità molto inferiori a quelle che potrebbero determinare un danno per la salute umana.

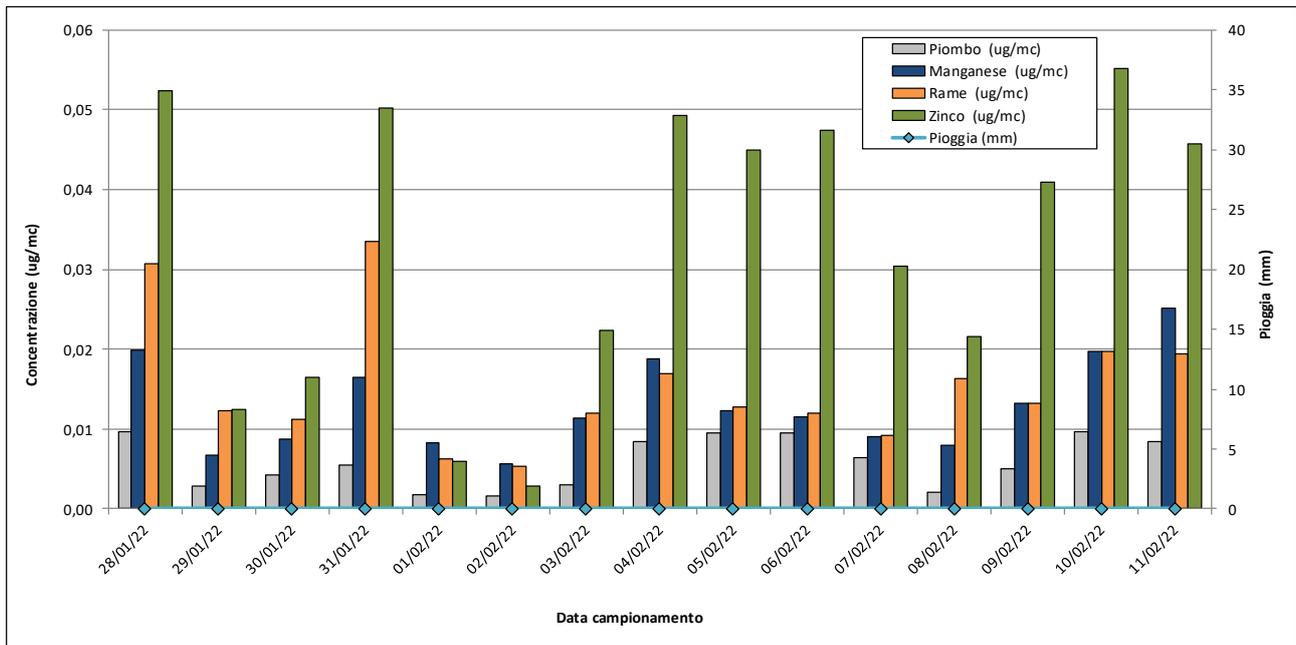
Di seguito i risultati delle analisi, affidate al Laboratorio di Dolomiti Energia Holding S.p.A., raffigurati per tramite di 8 grafici di sintesi con rappresentato, inoltre, l'andamento della piovosità giornaliera (figg. 20-27). In queste campagne di monitoraggio gli eventi meteorici sono stati quasi assenti e in risposta alle poche precipitazioni che ci sono state non si sono osservate particolari variazioni. 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 non è stata in grado di rilevarne la quantità.



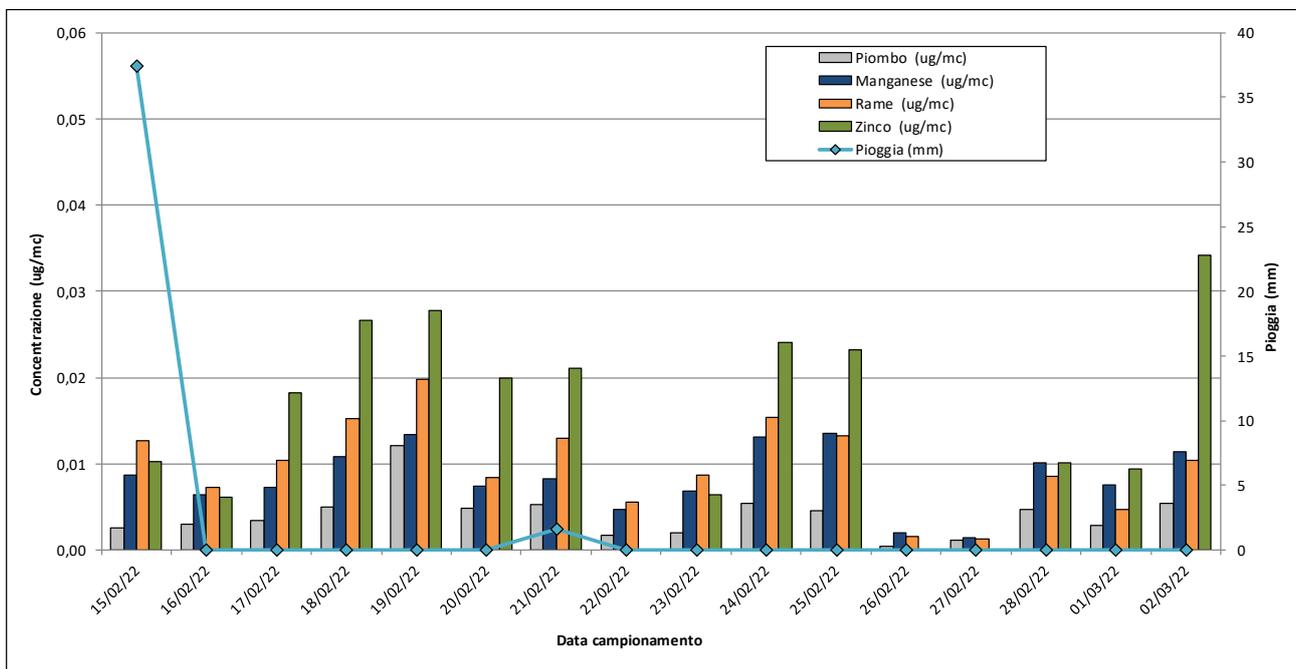
**Fig. 20.** Cortile IPRASE, via Tartarotti a Rovereto. Grafico delle concentrazioni giornaliere di Al e Fe, espresse in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a confronto con l'andamento della pioviggia espressa in mm tra gennaio e febbraio 2022.



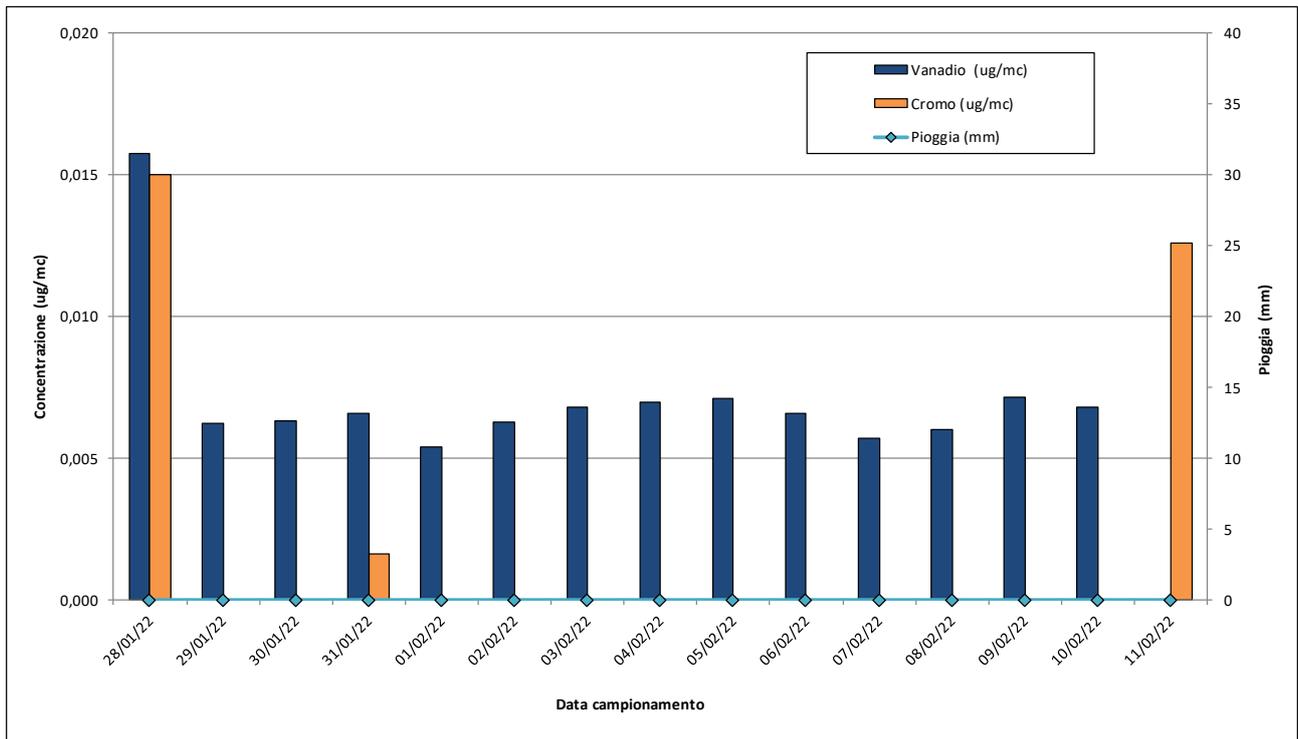
**Fig. 21.** Cortile IPRASE, via Roma a Rovereto. Grafico delle concentrazioni giornaliere di Al e Fe, espresse in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a confronto con l'andamento della pioviggia espressa in mm tra febbraio e marzo 2022.



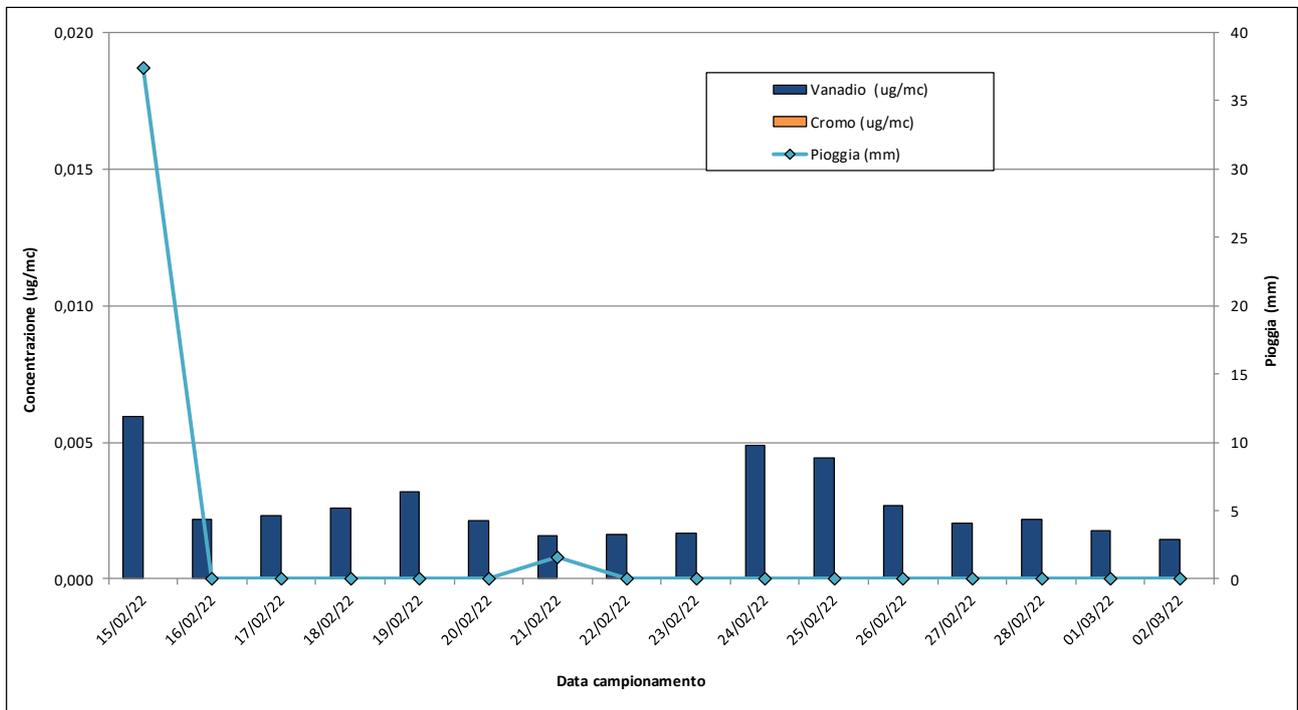
**Fig. 22.** Cortile IPRASE, via Tartarotti a Rovereto. Grafico delle concentrazioni giornaliere di Pb, Mn, Cu, Zn in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a confronto con l'andamento della piovosità espressa in mm tra gennaio e febbraio 2022.



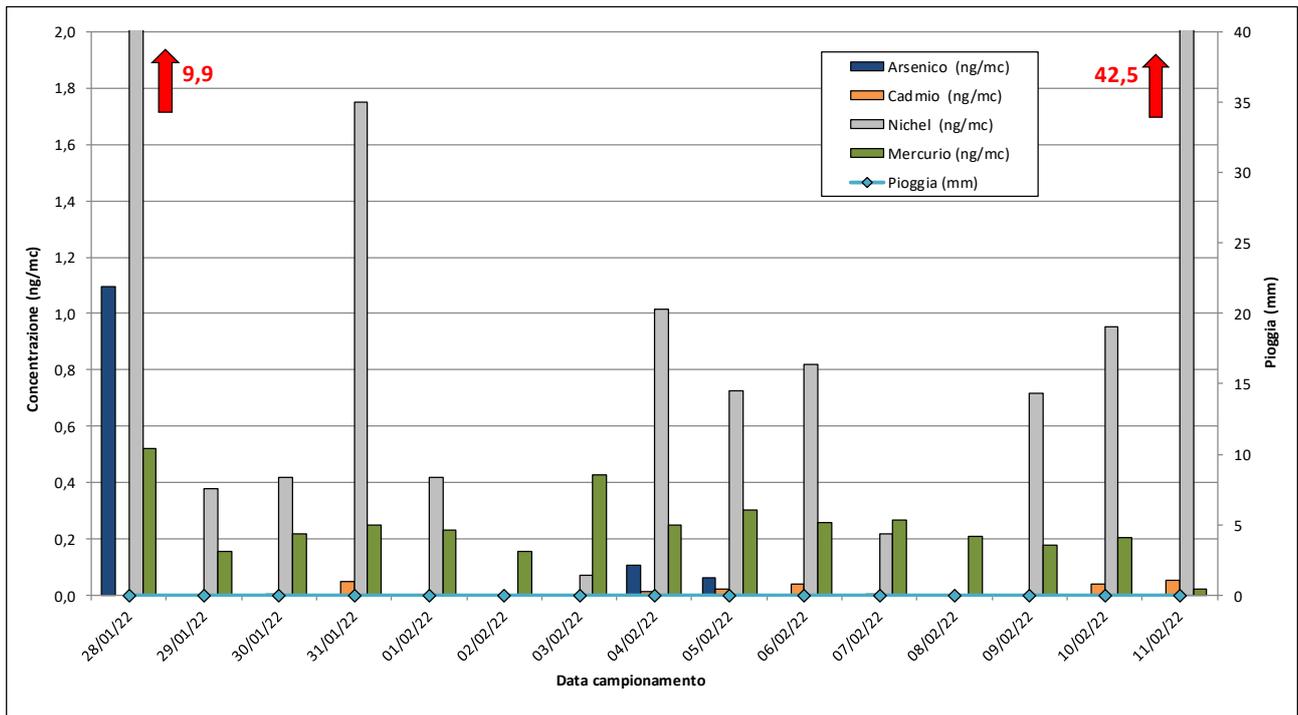
**Fig. 23.** Cortile IPRASE, via Roma a Rovereto. Grafico delle concentrazioni giornaliere di Pb, Mn, Cu, Zn in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a confronto con l'andamento della piovosità espressa in mm tra febbraio e marzo 2022.



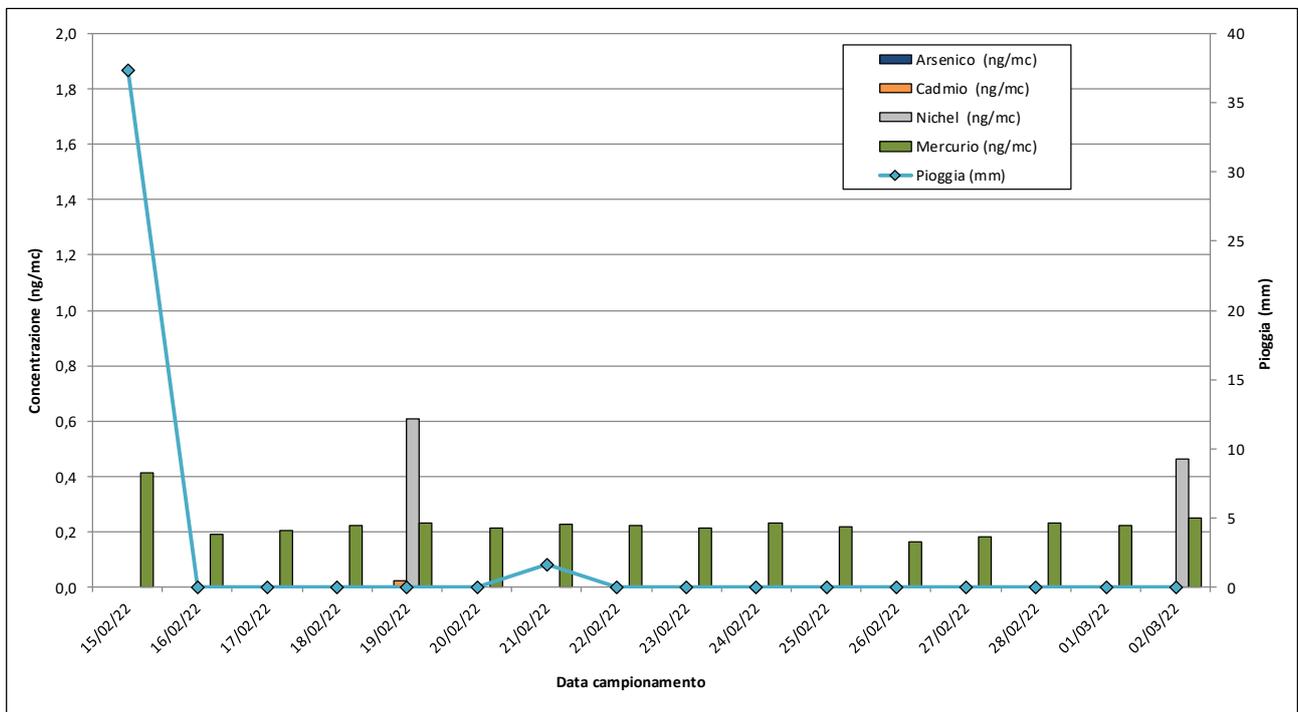
**Fig. 24.** Cortile IPRASE, via Tartarotti a Rovereto. Grafico delle concentrazioni giornaliere di Cr e V in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a confronto con l'andamento della pioviggia espressa in mm tra gennaio e febbraio 2022.



**Fig. 25.** Cortile IPRASE, via Roma a Rovereto. Grafico delle concentrazioni giornaliere di Cr e V in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a confronto con l'andamento della pioviggia espressa in mm tra febbraio e marzo 2022.



**Fig. 26.** Cortile IPRASE, via Tartarotti a Rovereto. Grafico delle concentrazioni giornaliere di As, Cd, Ni e Hg in  $\text{ng}/\text{m}^3$ , a confronto con l'andamento della piovosità espressa in mm tra gennaio e febbraio 2022.



**Fig. 27.** Cortile IPRASE, via Roma a Rovereto. Grafico delle concentrazioni giornaliere di As, Cd, Ni e Hg in  $\text{ug}/\text{m}^3$ , a confronto con l'andamento della piovosità espressa in mm tra febbraio e marzo 2022.

### *Biomonitoraggio lichenico*

Per la valutazione della qualità dell'aria in termini di inquinanti e polveri sottili la Fondazione MCR ha sviluppato, nel corso dei primi anni del 2000, tecniche che implicavano l'utilizzo di deposimetri e bioaccumulo lichenico (si veda R. Zorer, 2002). L'indagine sui licheni consente di valutare la qualità dell'aria, poiché questi sono organismi molto particolari, in grado di assorbire sostanze e di accumularle al loro interno: per tale motivo si definiscono *bioaccumulatori*.

I licheni derivano da un'associazione simbiotica tra un fungo e un'alga: ricavano i nutrienti prevalentemente da aria e acqua e sono in grado di colonizzare ambienti come gli alberi, la terra e la pietra. Sono caratterizzati da una struttura semplice chiamata *tallo*.

Nel territorio comunale di Rovereto sono state effettuate campagne di biomonitoraggio a cadenza periodica dal 2014. I talli lichenici vengono analizzati chimicamente per misurare le concentrazioni di inquinanti, ma è importante, nella fase interpretativa dei risultati tenere conto delle condizioni climatiche, che possono variare i tassi di bioaccumulo.

Nel 2013-2014, in collaborazione col Dottor Juri Nascimbene, la Fondazione MCR ha ripreso l'attività di ricerca per l'analisi dei metalli pesanti in atmosfera, partendo dal censimento delle stazioni in cui è presente il lichene *Xanthoria parietina* (lichene resistente che colonizza l'ambito urbano e ben si presta a studi di bioaccumulo), nel territorio comunale roveretano. Su una selezione rappresentativa di queste stazioni sono stati effettuati a febbraio 2014 campionamenti di talli lichenici che, opportunamente predisposti, sono stati analizzati presso un laboratorio accreditato per la ricerca di metalli pesanti. Tale attività di campionamento e analisi è stata ripetuta tra febbraio e marzo 2016, affiancando per due mesi, al lichene in posto (*Xanthoria parietina*), nella medesima postazione, anche talli di licheni espuntati di *Pseudevernia furfuracea* raccolti presso il Lago di Calaita nel comune di Primiero-San Martino di Castrozza (quota 1620 m s.l.m., Lat. 46.200372° e Long. 11.794280°). Con la campagna del 2019 si è cominciato ad utilizzare unicamente quest'ultimo lichene e per il 2022 si è continuato in questa direzione.

Dopo aver eseguito il 4 gennaio 2022 la raccolta dei talli lichenici di *Pseudevernia furfuracea* presso la località Lago di Calaita, il 17 gennaio 2022, si è proceduto alla loro esposizione nelle tredici stazioni roveretane usate nel 2019. Del materiale di Calaita una parte è stata conservata per usarla come bianco di riferimento. Il ritiro dei talli esposti nelle vie cittadine è avvenuto il 15 marzo e poi è seguita la predisposizione dei materiali per le analisi di laboratorio volte alla misura dei metalli pesanti di interesse e di alcuni composti idrocarburi policiclici aromatici (IPA). Le stazioni di biomonitoraggio lichenico e i relativi dati, espressi tramite indici sintetici di naturalità, alterazione e tossicità, sono disponibili on line sul sito EMAS del Comune all'interno della piattaforma WebGis (Fig. 28) da cui si può passare, cliccando sulla singola stazione, anche al database dedicato della Fondazione MCR in cui sono consultabili le schede complete di documentazione fotografica.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> [http://www.fondazionemcr.it/extendedsearch\\_banchedati.jsp?id\\_schema=239&ID\\_LINK=114099&area=153](http://www.fondazionemcr.it/extendedsearch_banchedati.jsp?id_schema=239&ID_LINK=114099&area=153)

Le analisi sono state eseguite per una selezione di metalli pesanti e di idrocarburi policiclici aromatici (IPA)<sup>17</sup> potenzialmente dannosi per la salute o per l'ambiente (ecotossici).

I metalli pesanti sono gli stessi considerati per le analisi effettuate con campionamento meccanico tramite il laboratorio mobile comunale, 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, con in aggiunta, Calcio, Ca; Cobalto, Co; e Magnesio, Mg.

Le vecchie campagne di monitoraggio lichenico (tramite *Xanthoria parietina*) avevano consentito di evidenziare come alcune stazioni, tra Rovereto città e zona industriale, fossero caratterizzate da un indice di alterazione maggiore rispetto alle altre; in particolare nel 2014 le stazioni potenzialmente più critiche erano risultate essere la 2 (Rovereto, viale Trento), la 7 (Rovereto, parco San Giorgio, via Europa) e la 14 (Rovereto, Lizzana alta, giardini di Corna Calda) principalmente in relazione al bioaccumulo di Cromo e per la stazione 2 anche di Nichel.

Nel 2016 quelle con naturalità minore erano ancora la 7 (Rovereto, parco San Giorgio, via Europa), la 9 (Rovereto, Viale dell'Industria), la 19 (Rovereto, Viale del Lavoro; attiva dal 2016) e la 20 (Rovereto, Via alle Fornaci; attiva dal 2016). La campagna di indagine del 2019 (Tab. 3) aveva portato a evidenziare invece una situazione molto migliore rispetto agli anni precedenti con assenza di bioaccumulo per vari metalli. Inoltre pur presentando ancora una volta valori più accentuati nelle stazioni n. 2 (Rovereto, viale Trento), e n. 7 (Rovereto, parco San Giorgio, via Europa) in area urbana e in quelle n. 9 (Rovereto, Viale dell'Industria), 18 (Rovereto, Parcheggio A22), 19 (Rovereto, Viale del Lavoro) e 20 (Rovereto, Via alle Fornaci) situate nella zona industriale, questi andavano a ricadere sempre nella classe di basso bioaccumulo (L). A queste si aggiungeva la st. 13 a Marco di Rovereto (che presentava un valore di bioaccumulo medio per il Rame) e la st. 14 a Lizzana Alta che presentava un bioaccumulo, seppur basso, per vari metalli.

Rapporto EU	Accumulo/perdita	Sigla
≤ 1.0	Assenza di bioaccumulo	A
1.0-1.9	Basso bioaccumulo	L
1.9-2.7	Moderato bioaccumulo	M
2.7-3.5	Alto bioaccumulo	H
>3.5	Severo bioaccumulo	S

**Tab. 2.** Scala di interpretazione dei valori del rapporto EU<sup>18</sup> per otto settimane di esposizione, applicata agli esiti della campagna 2019. Le sigle qui riportate indicano: A per "Absence", L per "Low", M per "Moderate", H per "High" e S per "Severe".

<sup>17</sup> Gli Idrocarburi policiclici Aromatici (IPA) sono presenti ovunque in atmosfera, derivano dalla combustione incompleta di materiale organico e dall'uso di olio combustibile, gas, carbone e legno nella produzione di energia. La fonte più importante di origine antropica è rappresentata dalle emissioni veicolari, seguita dagli impianti termici, dalle centrali termoelettriche e dagli inceneritori. ... A livello industriale gli IPA sono prodotti da numerose attività: lavorazione di metalli, raffinerie, cartiere, industrie chimiche e plastiche, inceneritori e depositi di sostanze tossiche. ... Poiché è stato evidenziato che la relazione tra il Benzo(a)Pirene (BaP) e gli altri IPA, detto profilo IPA, è relativamente stabile nell'aria delle diverse città, la concentrazione di BaP viene utilizzata come indice del potenziale cancerogeno degli IPA totali. ... (Fonte Ministero della salute).

<sup>18</sup> Da Cecconi E., Fortuna L., Benesperi R., Bianchi E., Brunialti G., Contardo T., Di Nuzzo L., Frati L., Monaci F., Munzi S., Nascimbene J., Paoli L., Ravera S., Vannini A., Giordani P., Loppi S., Tretiach M., 2019. New interpretative scales for Lichen Bioaccumulation Data: the italian proposal. *Atmosphere*, 10, 136.

## 2019

St.	Stazione	Al	As	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mg	Mn	Ni	Pb	V	Zn
2	Rovereto, Viale Trento (dal civico 6 al 10)	A	A	A	L	L	L	M	L	A	A	A	A	L	L	L
7	Rovereto, parco San Giorgio, via Europa	A	A	A	A	L	A	L	L	A	A	A	A	L	L	A
8	Rovereto, Sacco, parco di fronte al complesso ex Manifattura	A	A	A	A	A	A	M	A	A	A	A	A	L	L	A
9	Rovereto, Viale dell'Industria	A	A	A	A	L	L	S	L	A	A	A	L	L	L	A
11	Rovereto, Noriglio, davanti alla Chiesa	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	L	A
12	Rovereto, Sant'Ilario, giardini pubblici	A	A	A	A	L	L	L	L	A	A	A	A	L	A	A
13	Rovereto, Marco, giardino esterno scuole elementari	A	A	A	A	L	A	M	L	A	A	A	A	L	L	L
14	Rovereto, Lizzana alta, giardini di Corna Calda	A	A	A	A	L	L	L	L	A	A	A	A	L	L	A
15	Rovereto, parcheggio presso l'impianto natatorio comunale, lato asilo	A	A	A	A	L	A	M	L	A	A	A	A	L	L	A
17	Rovereto, vicolo Tintori 14-16 (zona Lungo Leno sinistro)	A	A	A	A	L	A	L	L	A	A	A	A	L	L	A
18	Rovereto, Parcheggio A22; dal 2016	A	A	A	A	A	L	M	L	A	A	A	A	L	L	A
19	Rovereto, Viale del Lavoro; dal 2016	A	A	A	A	L	A	L	L	A	A	A	A	L	L	A
20	Rovereto, Via alle Fornaci; dal 2016	A	A	A	A	L	L	H	L	A	A	A	A	L	L	A

**Tab. 3** - Sintesi dei tassi di bioaccumulo per ciascun metallo in ciascuna stazione per il 2019. Le sigle corrispondono alle cinque classi interpretative del bioaccumulo per licheni espuntati (vedi tab. 2 Cecconi *et alii*, 2019). Qui non si è considerato il Sodio, Na, che non è contemplato nel lavoro di Cecconi *et. alii* (2019) e presenta valori di bioaccumulo severo per tutte le stazioni. Questa situazione particolare di bioaccumulo potrebbe essere spiegata col trattamento delle strade in periodo invernale.

Col 2022 si è potuta osservare una ulteriore evoluzione della situazione (Tab. 4) che ha portato a un lieve peggioramento generale ma con variazioni in senso negativo (come ad esempio a Noriglio, Sant'Ilario e parcheggio piscina a Rovereto) o positivo (come a San Giorgio e a Sacco) a seconda della stazione considerata. C'è stato un certo miglioramento per quanto riguarda invece il bioaccumulo di Piombo, Vanadio e soprattutto del Rame, in diverse postazioni di controllo.

## 2022

St.	Stazione	Al	As	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mg	Mn	Ni	Pb	V	Zn
2	Rovereto, Viale Trento (dal civico 6 al 10)	L	L	L	L	L	L	L	L	A	L	A	L	L	A	L
7	Rovereto, parco San Giorgio, via Europa	A	A	A	A	A	A	L	A	A	A	A	A	A	A	A
8	Rovereto, Sacco, parco di fronte al complesso ex Manifattura	A	A	A	A	A	A	L	A	A	A	A	A	A	A	A
9	Rovereto, Viale dell'Industria	A	L	A	A	L	L	M	L	A	L	A	L	L	A	L
11	Rovereto, Noriglio, davanti alla Chiesa	A	A	L	L	L	L	L	L	L	L	L	A	A	A	L
12	Rovereto, Sant'Ilario, giardini pubblici	L	L	L	L	L	L	M	L	L	L	A	L	L	A	L
13	Rovereto, Marco, giardino esterno scuole elementari	A	A	L	L	L	L	L	L	A	L	L	L	A	A	L
14	Rovereto, Lizzana alta, giardini di Corna Calda	A	A	A	A	A	A	L	L	A	L	A	A	A	A	A
15	Rovereto, parcheggio presso l'impianto natatorio comunale, lato asilo	L	L	L	A	L	L	L	L	L	L	A	L	L	A	L
17	Rovereto, vicolo Tintori 14-16 (zona Lungo Leno sinistro)	A	L	A	A	A	L	L	A	A	A	A	A	A	A	A
18	Rovereto, Parcheggio A22; dal 2016	A	L	L	A	L	L	M	L	A	L	A	L	L	A	L
19	Rovereto, Viale del Lavoro; dal 2016	A	L	A	A	L	L	L	L	A	L	L	A	A	A	L
20	Rovereto, Via alle Fornaci; dal 2016	A	L	A	L	L	L	L	L	A	A	A	L	L	A	L

**Tab. 4** - Sintesi dei tassi di bioaccumulo per ciascun metallo in ciascuna stazione per il 2022. Le sigle corrispondono alle cinque classi interpretative del bioaccumulo per licheni espuntati (vedi tab. 2 Cecconi *et alii*, 2019). Qui non si è considerato il Sodio, Na, che non è contemplato nel lavoro di Cecconi *et. alii* (2019) e presenta valori di bioaccumulo severo per tutte le stazioni. Questa situazione particolare di bioaccumulo potrebbe essere spiegata col trattamento delle strade in periodo invernale.

Come detto, oltre ai metalli pesanti si è andati ad indagare anche il bioaccumulo di Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) che nel complesso, nell'area di studio, appare di modesta entità (tabella 5), confermando a grandi linee la situazione osservata nel 2019 quando tuttavia si erano registrati valori sempre bassi o moderati soltanto per Pirene, Fluorantene e Naftalene. L'Antracene, composto non cancerogeno, ma comunque di interesse sanitario originato da processi di combustione, sembra

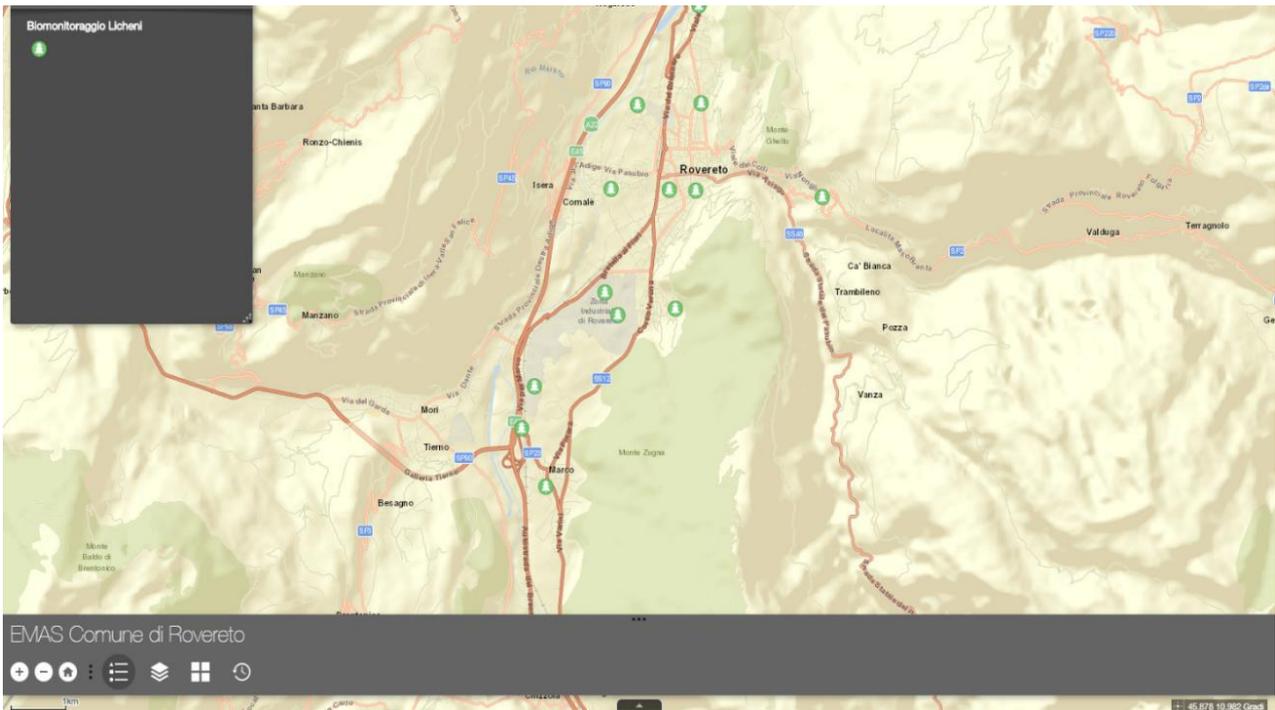
essere l'elemento più ricorrente nelle stazioni di campionamento con valori di bioaccumulo moderato ad esempio nella stazione 13.

Il benzo(a)pirene indicato dall'Organizzazione Mondiale della Salute come pericoloso per l'uomo non è risultato rilevabile, con il set up analitico utilizzato, né nei campioni né nei bianchi di confronto.

## 2022

St.	Stazione	Antracene (mg/Kg)	Fenantrene (mg/Kg)	Fluorantene (mg/Kg)	Naftalene (mg/Kg)
L2	Rovereto, Viale Trento (dal civico 6 al 10)	L	L	A	A
L7	Rovereto, parco San Giorgio, via Europa	L	L	L	A
L8	Rovereto, Sacco, parco di fronte al complesso ex Manifattura	L	L	L	A
L9	Rovereto, Viale dell'Industria	L	L	L	A
L11	Rovereto, Noriglio, davanti alla Chiesa	L	A	A	A
L12	Rovereto, Sant'Ilario, giardini pubblici	L	A	L	A
L13	Rovereto, Marco, giardino esterno scuole elementari	M	L	L	A
L14	Rovereto, Lizzana alta, giardini di Corna Calda	L	A	A	A
L15	Rovereto, parcheggio presso l'impianto natatorio comunale, lato asilo	L	A	A	A
L17	Rovereto, vicolo Tintori 14-16 (zona Lungo Leno sinistro)	A	A	A	A
L18	Rovereto, Parcheggio A22; dal 2016	L	L	A	A
L19	Rovereto, Viale del Lavoro; dal 2016	A	A	A	A
L20	Rovereto, Via alle Fornaci; dal 2016	L	A	A	A

**Tab. 5** - Sintesi dei tassi di bioaccumulo per ciascun IPA (tra quelli con valori rilevabili nei campioni bianchi) in ciascuna stazione. Le sigle corrispondono alle cinque classi interpretative del bioaccumulo per licheni espantati (vedi tab. 2 Cecconi *et alii*, 2019).

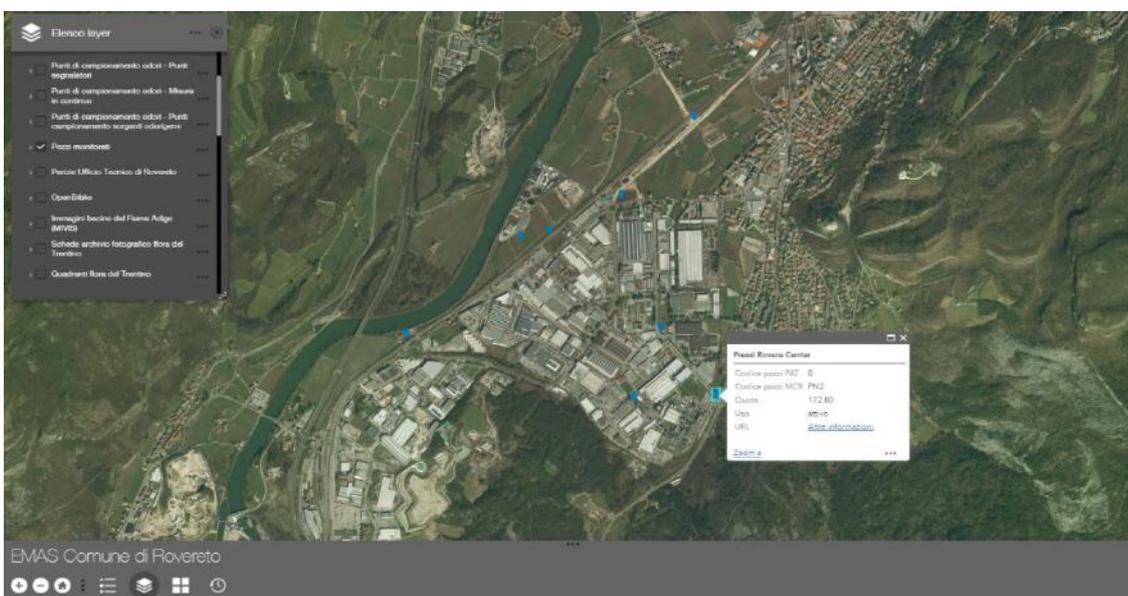


**Fig. 28.** Estratto dal WebGis collegato al sito EMAS del Comune di Rovereto; in evidenza il solo layer dedicato ai punti del tematismo “Biomonitoraggio licheni”.

### 2.3 Monitoraggio della falda freatica

Dal 2004 il Museo Civico monitora le oscillazioni della falda freatica della zona industriale di Rovereto. 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. 29) dove è anche indicato se il pozzo è attivo o meno.

Nel tempo alcuni di questi pozzi sono andati persi a causa delle trasformazioni antropiche del territorio. Dal 2021 la misura 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.

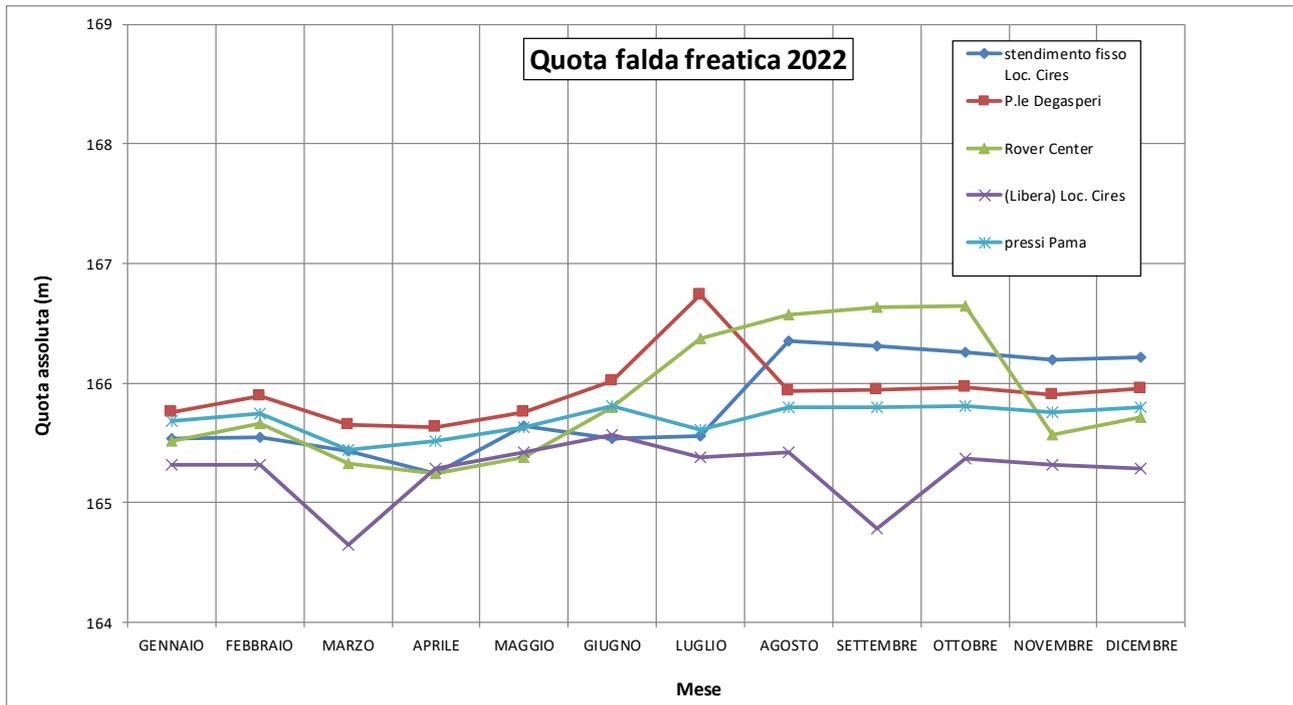


**Fig. 29.** Estratto dal WebGis collegato al sito EMAS del Comune di Rovereto; in evidenza il solo *layer* dedicato ai punti “Pozzi monitorati”.

Per l'anno 2022 i dati di quota assoluta della prima falda nei vari punti di misura, mese per mese, sono riportati nel grafico di figura 30.

L'andamento delle curve sul grafico evidenzia:

- nei primi sei mesi dell'anno il livello della falda freatica presenta in tutti i punti monitorati un andamento uniforme ad eccezione del pozzo di località Cires (denominato Libera) che nel mese di marzo, al momento della misura, aveva la pompa in funzione;
- da luglio a dicembre l'andamento sembra meno regolare ma si sottolinea che:
  - la misura di luglio di piazzale Degasperi è anomala probabilmente a causa di un errore di trascrizione del dato.
  - la misura di settembre in località Cires (denominato Libera) è ancora una volta dovuta al pompaggio verificato in loco
  - gli andamenti anomali dell'andamento del Rover Center in questo periodo dell'anno possono essere dovuti a una minore necessità di acqua per uso industriale che poi è ripresa a novembre



**Fig. 30.** 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 nel corso del 2022.

Con l'intenzione di valorizzare la grande quantità di dati raccontati nel corso degli anni, dopo aver predisposto un nuovo protocollo di misura normalizzato per minimizzare l'errore legato all'operatore, per il 2023, si è deciso di incrementare il numero dei punti di misura integrandoli con ulteriori 5 pozzi per ampliare l'area di interesse all'interno dei confini comunali. Ciò permetterà di avere un quadro più esteso utile alla elaborazione e alla costruzione di un modello idrogeologico dinamico nella piana alluvionale del territorio comunale.

Si intende inoltre misurare la falda freatica, oltre che mensilmente a intervalli regolari, anche in coincidenza con eventi meteorologici acuti e significativi per visualizzare la risposta della falda nei momenti più critici.

Attualmente con lo strumento in possesso della Fondazione si misurano profondità della falda freatica e temperatura ma, per interesse ambientale, è in programma per il 2023 l'ampliamento della raccolta dati con il rilievo anche di Ph e conducibilità elettrica.

I dati raccolti durante l'anno saranno sintetizzati in una relazione che descriverà l'andamento della quota della falda e degli altri parametri rilevati creando inoltre una carta delle isofreatiche attraverso software specifici di mappatura e modellazione.

## 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 2022 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](https://zanzara.fondazionemcr.it/zanz_context.jsp?ID_LINK=113248&area=227).

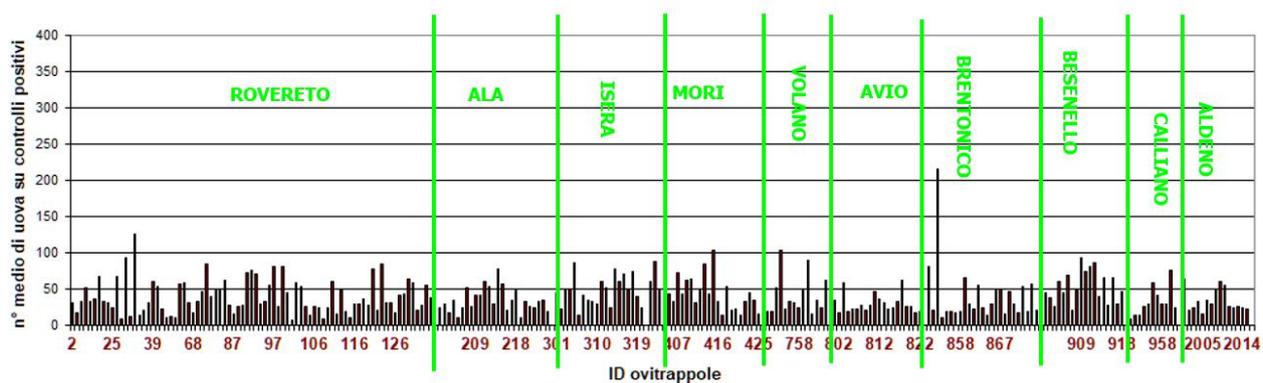
Il grafico in figura 31, frutto delle rilevazioni dell'intera stagione di controllo (dal 10 maggio al 25 ottobre 2022, per venticinque settimane di controllo), mostra un andamento dell'infestazione in termini di intensità (espressa come numero medio di uova per ovitrappola positiva), variabile da Comune a Comune.

L'inverno 2021/2022 relativamente mite, che non ha influito negativamente sulla sopravvivenza delle uova diapausanti deposte lo scorso autunno e le temperature già elevate di inizio primavera 2022, hanno consentito una rapida colonizzazione del territorio da parte di *Aedes albopictus*. Rispetto al 2021 (anno caratterizzato da un mese di maggio piovoso e con temperature inferiori alla media) la differenza risulta particolarmente evidente. L'area colonizzata dalla zanzara tigre è andata via via aumentando nel corso delle settimane; già a inizio giugno il 60% delle stazioni risultava positiva, e nella seconda metà di agosto ha raggiunto il picco stagionale, prossimo al 90%, valore analogo a quanto registrato lo scorso anno. Successivamente l'estensione dell'infestazione è progressivamente diminuita ma in modo irregolare, soprattutto nelle ultime settimane di monitoraggio.

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, perlomeno 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>).

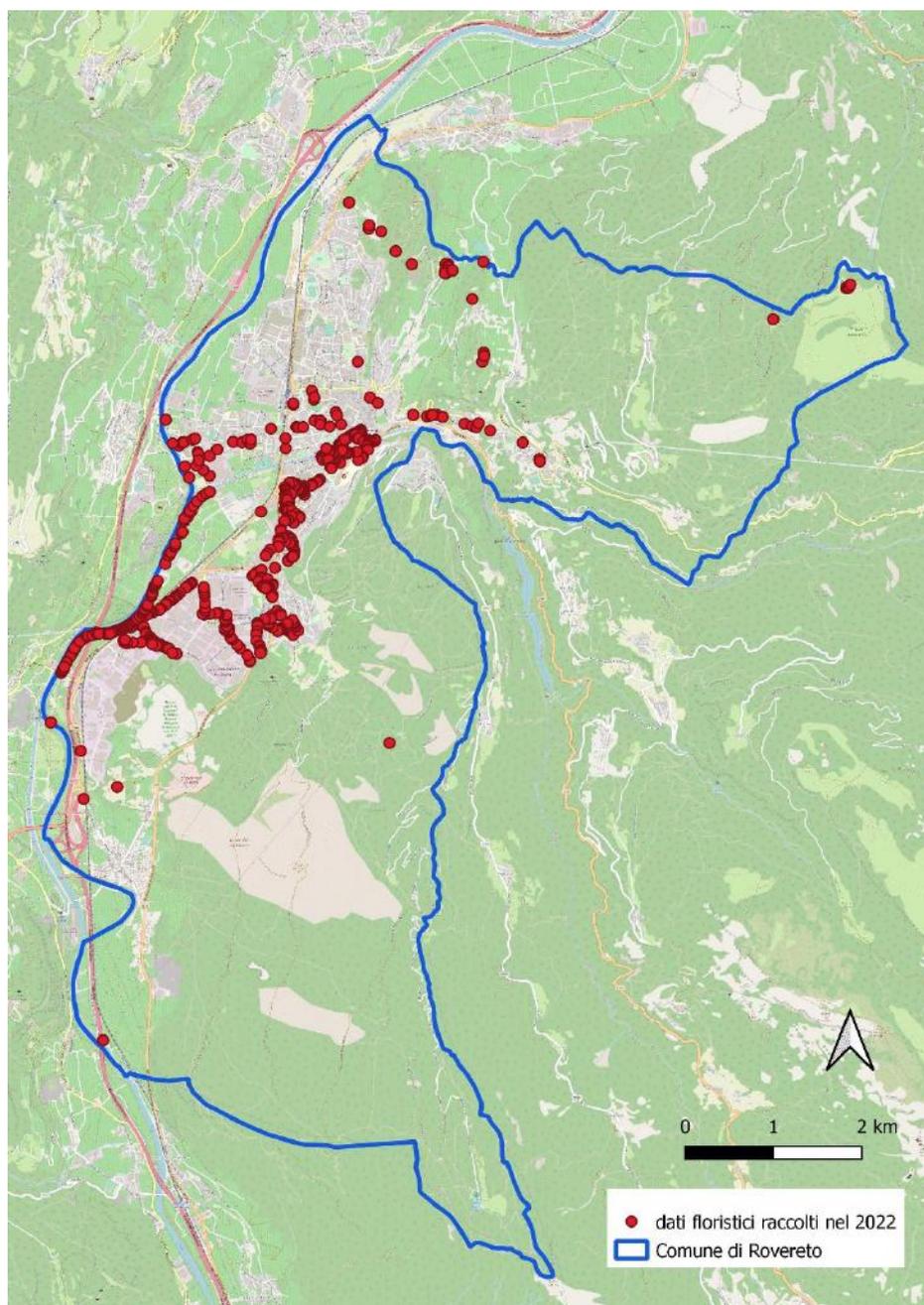
Dal 2019 ad oggi i dati raccolti sono invece disponibili al link <https://vettoritrentino.it/> del tavolo di lavoro provinciale, dove l'archivio viene implementato in collaborazione con MUSE e Fondazione Mach.



**Fig. 31.** Grafico del numero medio di uova su controlli positivi registrato per ciascun punto di controllo (ovitrappola) presente nei dieci Comuni indagati nel 2022 nel territorio della Vallagarina. Complessivamente, da maggio a fine ottobre 2022, si sono monitorate per 25 settimane 254 ovitrappole, di cui oltre settanta nel comune di Rovereto, distribuite dal fondovalle fin sui versanti a costituire una rete a maglie fitte.

## 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 2022, con varie uscite concentrate soprattutto nell'area centro occidentale del comune, per un totale di 750 record floristici raccolti (Fig. 32).



**Fig. 32.** Distribuzione puntuale dei dati floristici raccolti dalla sezione botanica della FMCR nel 2022

## 2.6 Monitoraggio iperspettrale

Per un quadro generale ambientale, multi temporale, del territorio roveretano (vegetazione, indicazioni indirette sul primo sottosuolo, coperture degli edifici 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 affacciati sulla Vallagarina<sup>19</sup>. Nel corso del pomeriggio del 23 settembre 2022, sono state realizzate alcune riprese iperspettrali dal punto collocato sulla piattaforma dell'ex tiro a segno di Lenzima di Isera<sup>20</sup>.

Per le riprese è stato impiegato un sistema iperspettrale HYPERSPECTRAL imaging system "PAN & TILT" DV Optich 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 con fotocamera per il visibile (Lumix) e una modificata per il primo infrarosso (Canon) e infrarosso termico (con un termografo bolometrico Avio A65 per l'intervallo 8000-14000 [nm]). Occasionalmente, a ulteriore complemento, sono state eseguite delle riprese anche in multipolarizzazione e in multitemporale.

La serie iperspettrale prevista sulla postazione presso la strada che porta al Monte Zugna, all'altezza di Malga Tof, non si è potuta invece realizzare a causa delle condizioni meteo non ottimali. Nel corso del 31 ottobre 2022 e del successivo 5 novembre è stata comunque eseguita da questa stazione, una serie di riprese con diverse tecniche di telerilevamento. La mattina del 31 ottobre intorno alle ore 11:00 e poi nel pomeriggio intorno alle 15:00 sono state acquisite delle immagini nel visibile da cui si sono ricavate alcune elaborazioni di confronto nel tempo (fig. 43). Questa tecnica è risultata comunque poco interessante perché la tecnologia ha successivamente proposto altro (vedi figura 33)

---

<sup>19</sup> Col 2021 i siti erano diventati tre, ma nel 2022, a causa delle difficoltà di accesso al Sacriario Militare di Castel Dante, si è deciso in maniera definitiva di utilizzare solo le postazioni sul Monte Zugna e presso Lenzima di Isera.

<sup>20</sup> Gentilmente messa a disposizione dal sig. Fabrizio Todesco proprietario del terreno.



**Fig. 33.** All' analisi multitemporale nel visibile (come da Fig. 43) si può sostituire utilmente lo studio della riflettanza nell'ultravioletto per paragone fra immagine raccolta senza e, rispettivamente, con interposta una spessa lastra di vetro<sup>21</sup>. Il vetro non è trasparente all'ultravioletto. Il confronto fra immagine ripresa a campo libero e immagine ripresa immediatamente dopo con interposto un vetro, rende la riflettanza nell'ultravioletto che permette di osservare minuscole, locali, anomalie indotte dal rifacimento di parte delle coperture, delle pareti e dovute alla deposizione di polveri.

<sup>21</sup> Figura non collegata ai siti di Lenzima e Monte Zugna inserita unicamente a titolo di esempio.

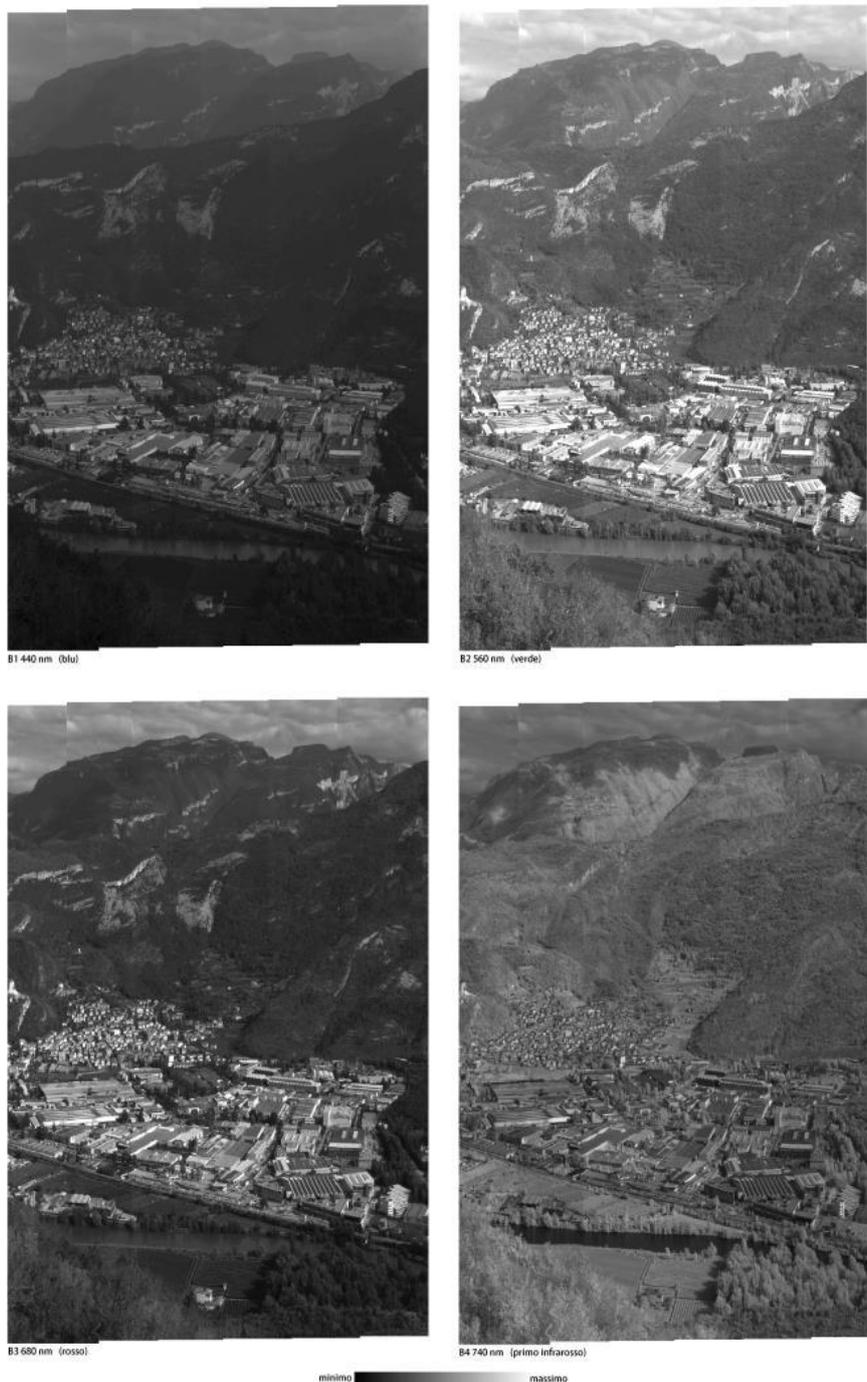
Le riprese multispettrali, multitemporali e di multipolarizzazione sono impiegate per evidenziare disomogeneità presenti sulle superfici rilevate. Ad esempio il rilievo del campo della temperatura di irraggiamento è interessante, in particolare in forma multitemporale, per mettere in risalto la risposta delle superfici in relazione al materiale che le costituisce.

Si propongono di seguito (Figg. 34-45) alcuni esempi di studio usando i dati raccolti in campagna. Si tratta di elaborazioni mutate dal telerilevamento facendo ricorso ai concetti di tessitura, stato delle superfici, stato vegetazionale, ecc. al fine di ottenere un quadro informativo delle condizioni del territorio alla data della ripresa e confrontabile nel tempo.

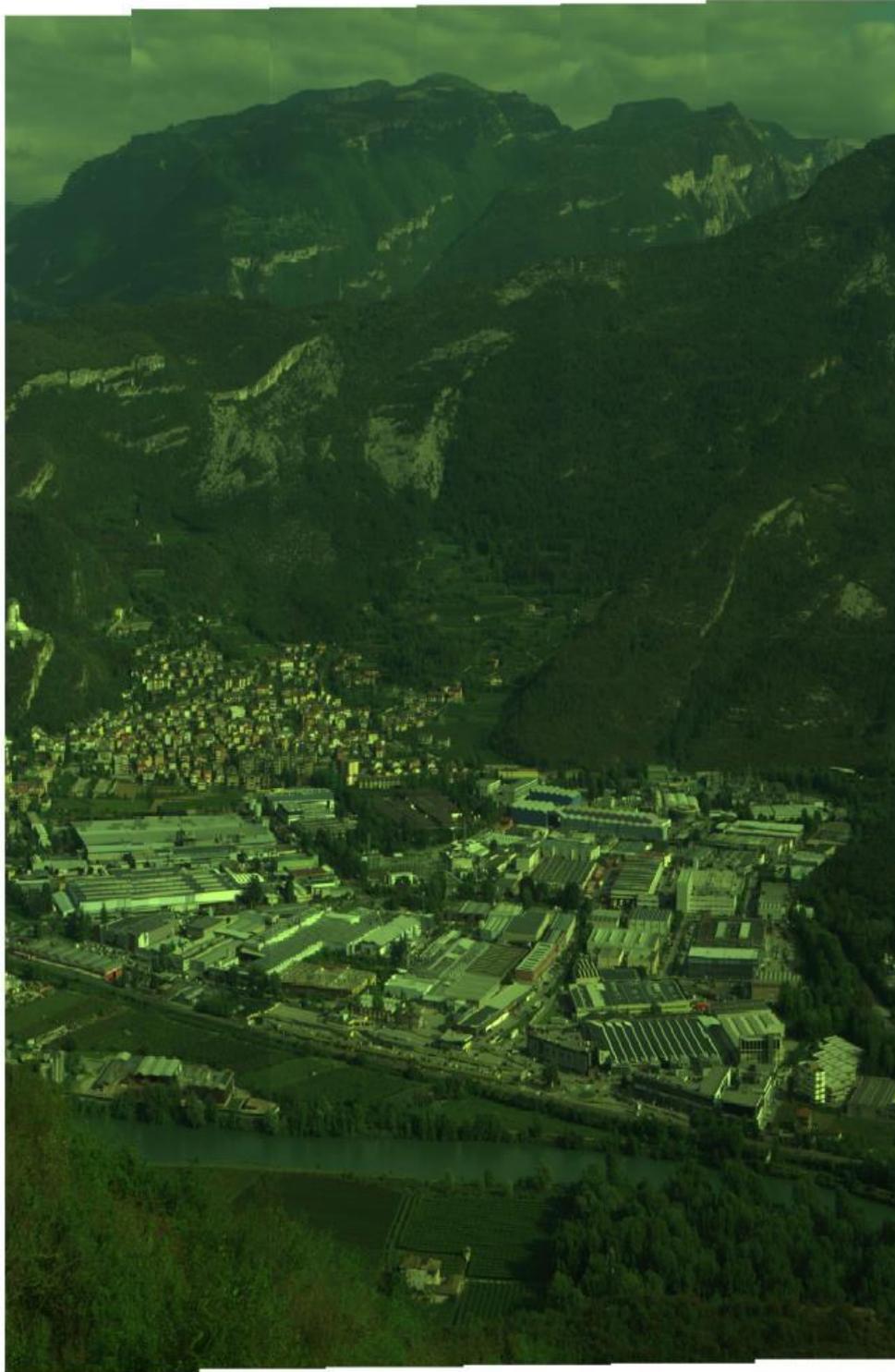
Scorrendo lo spettro elettromagnetico dal visibile (400 [nm]-700 [nm]) al primo infrarosso (700 [nm]-1000 [nm]) all'infrarosso termico (intorno 8000 [nm]-14000 [nm]) si evidenziano alcuni aspetti caratteristici: la vegetazione attiva riflette poco nel blu (440 [nm]) e nel rosso (680 [nm]), mediamente nel verde (560 [nm]), intensamente nel primo infrarosso (740 [nm]).

Nell'infrarosso termico la vegetazione tende a mantenere costante la propria temperatura rispetto alle variazioni ambientali; le zone inerti nel visibile sono definite dal colore, mentre nel primo infrarosso riflettono in minore misura se maggiormente umide. L'acqua infatti nel primo infrarosso appare scurissima (vedi esempio nella figura 34).

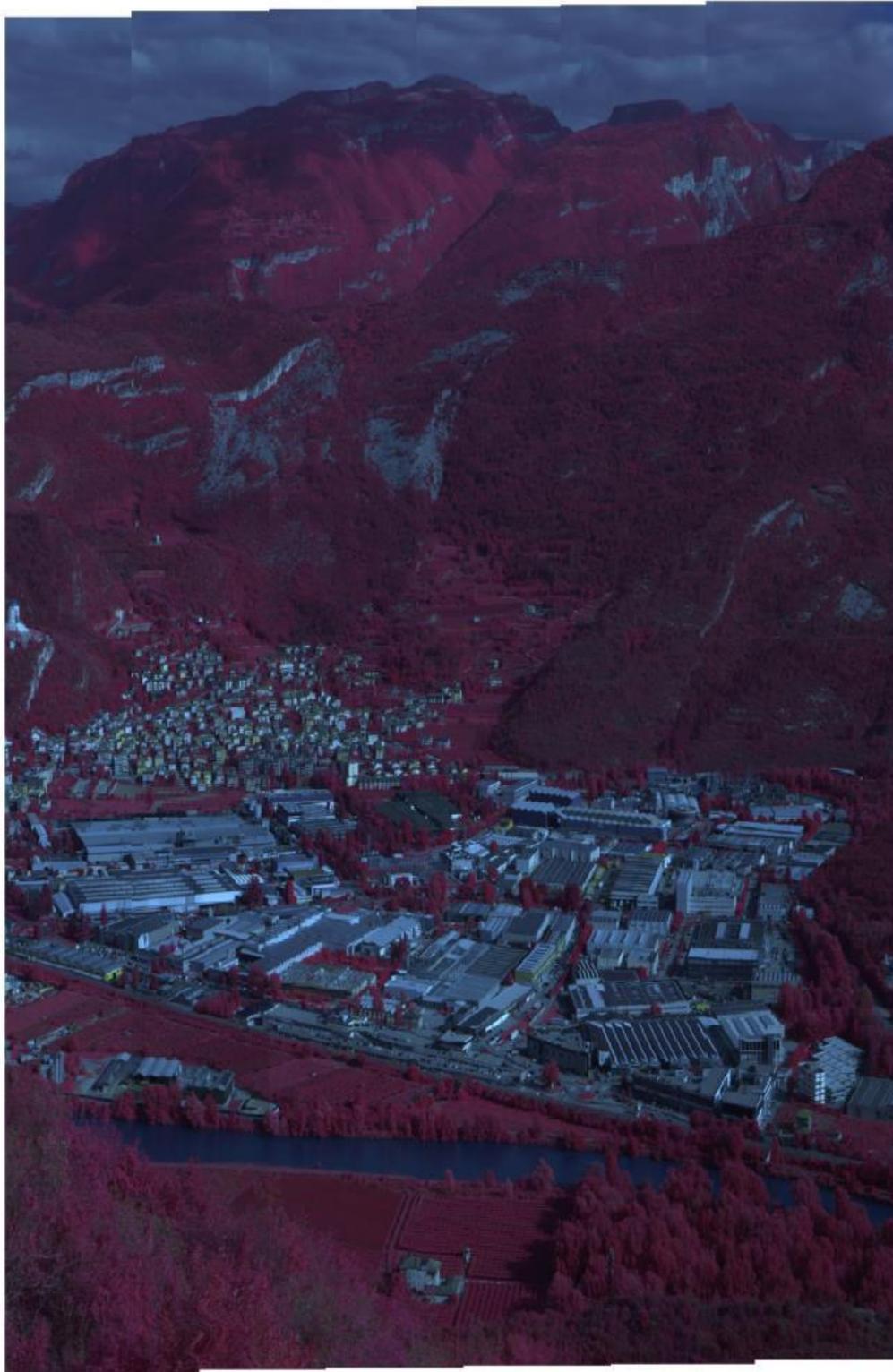
Si presenta di seguito una serie di immagini a iniziare dalla postazione di Lenzima di Isera.



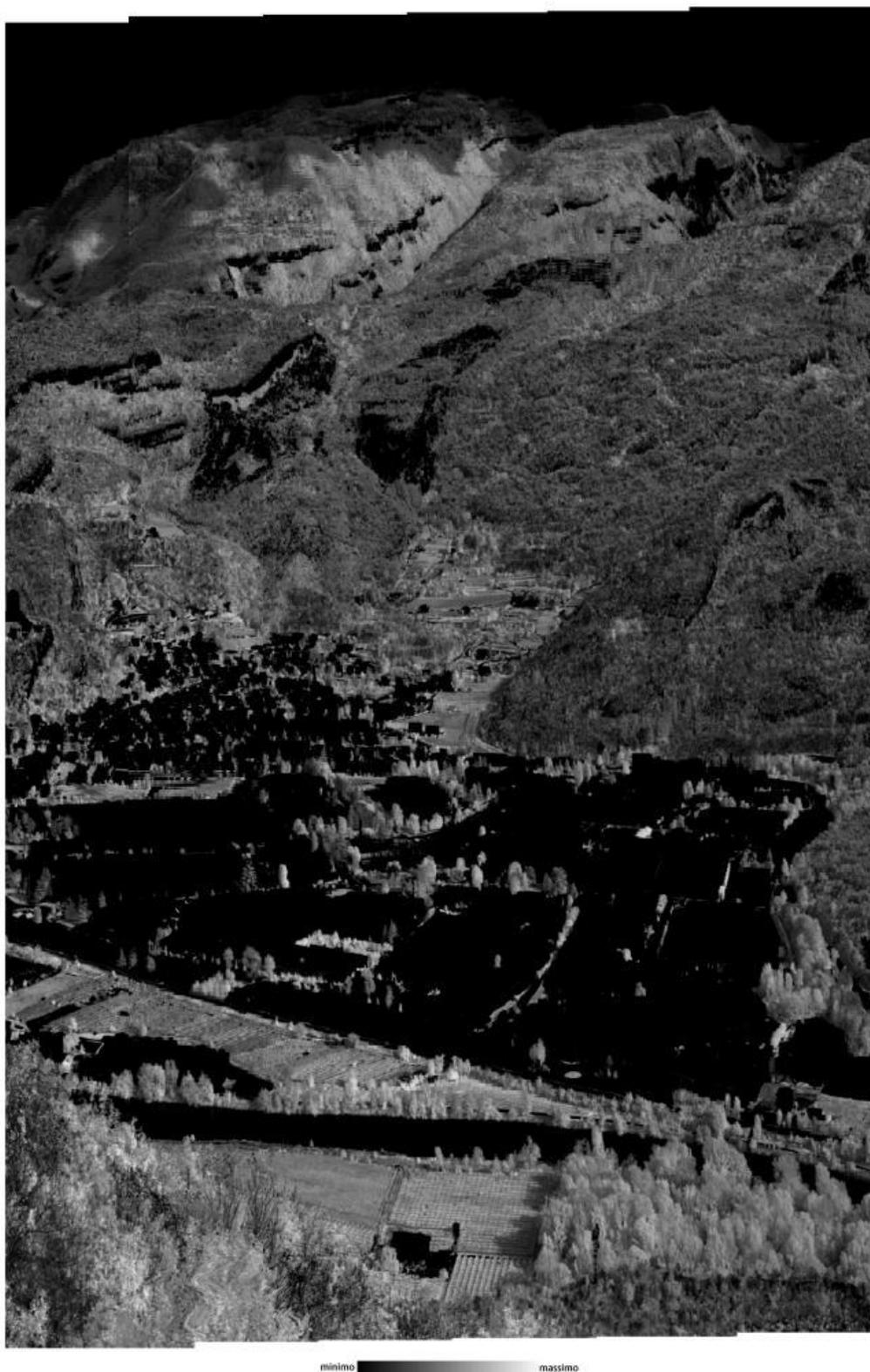
**Fig. 34.** Immagini panoramiche eseguite da Lenzima d’Isera. Dalla serie delle matrici-immagine acquisite sono state selezionate sei strisciate (negli intervalli B1=440 [nm], B2=560 [nm], B3= 680 [nm], B4=740 [nm]) per l’assemblaggio in forma di mosaico. L’intensità della radiazione riflessa, nel caso presente entro l’intervallo di 10 [nm], cresce dal grigio scuro al grigio chiaro. Passando dal blu B1 al primo infrarosso B4 aumenta in generale il contrasto fra zone più o meno illuminate. La vegetazione mostra bassi valori di riflettanza nel blu B1 e nel rosso B3 dove assorbe l’energia per vivere (in pratica nelle immagini la vegetazione tende al nero perché queste onde elettromagnetiche, nel blu e nel rosso, vengono assorbite dalle foglie), invece rifiuta il verde B2 e rigetta letteralmente il primo infrarosso B4 a meno che non sia in condizioni critiche di stato (infatti la vegetazione ha colori più chiari perché queste onde elettromagnetiche della luce non vengono assorbite dalle foglie e vengono in gran parte riflesse).



**Fig. 35.** Immagine panoramica eseguita da Lenzima d'Isera. Sintesi additiva dell'assemblaggio a mosaico delle bande nel visibile: B1=440 [nm] reso in blu; B2=560 [nm] reso in verde, B3= 680 [nm] reso in rosso.



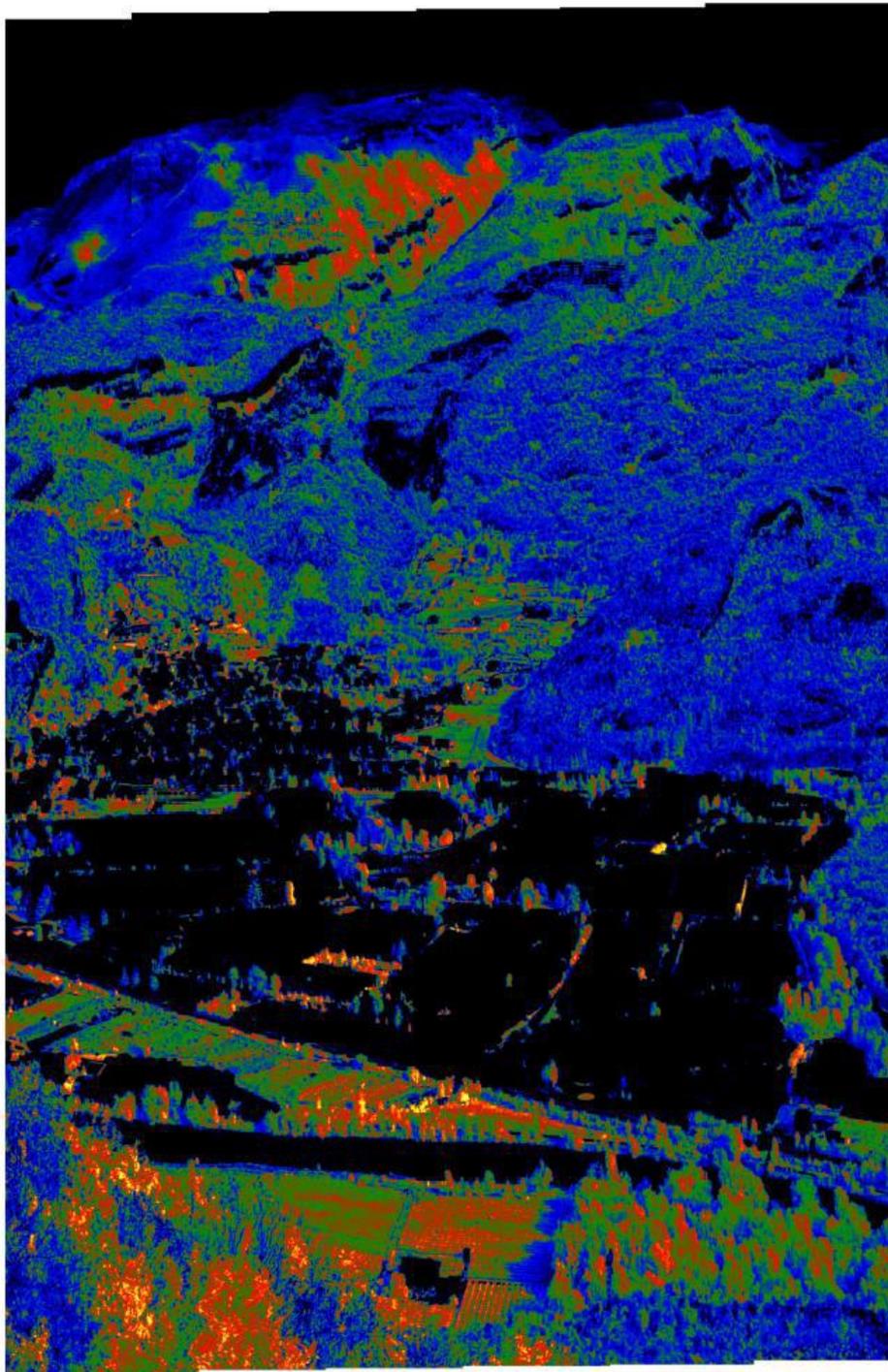
**Fig. 36.** Immagine panoramica eseguita da Lenzima d'Isera. Sintesi additiva dell'assemblaggio a mosaico delle bande B2=560 [nm] reso in blu, B3= 680 [nm] reso in verde, B4= 740 [nm] reso in rosso. Mette in evidenza le zone vegetate con il colore magenta per il prevalere di B2 e B4.



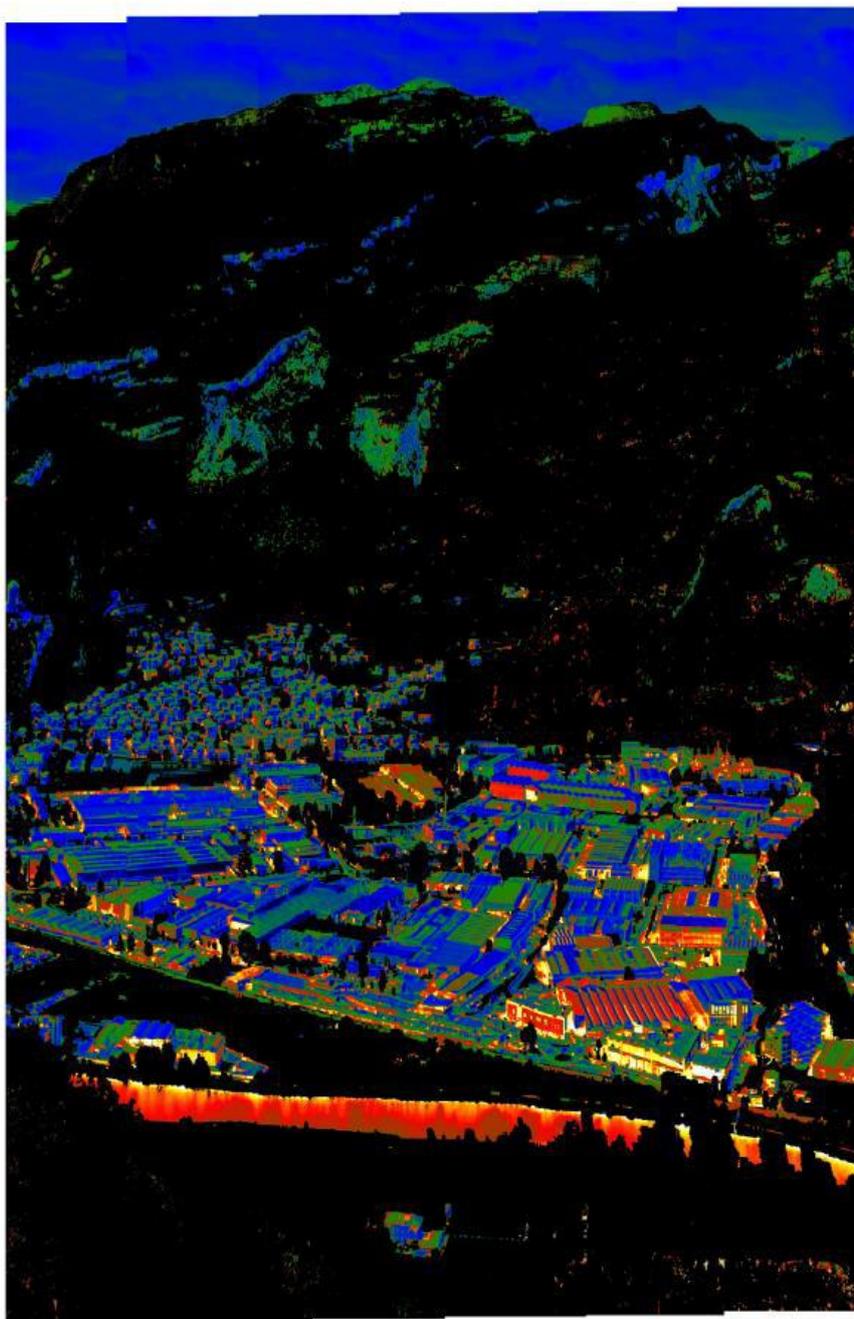
**Fig. 37.** Immagine panoramica eseguita da Lenzima d'Isera. Presentazione della differenza normalizzata fra primo infrarosso B4= 740 [nm] e rosso B3= 680 [nm]:  $(B4-B3)/(B4+B3)$ . Le zone vegetate appaiono chiare, le rimanenti da molto scure a nere.



**Fig. 38.** Immagine panoramica eseguita da Lenzima d'Isera. Dalla matrice del confronto fra primo infrarosso B4 e rosso B3 ( $B4-B3$ )/( $B4+B3$ ) si ricava una maschera per la separazione delle superfici inerti (in nero) da quelle vegetate (in bianco).



**Fig. 39.** Immagine panoramica eseguita da Lenzima d’Isera. Selezionando le sole zone vegetate si rappresenta lo stato fisico generale della vegetazione. Tenuto conto che il campo della funzione  $(B4-B3)/(B4+B3)$  detta NDVI (Normalized Density Vegetation Index) ha valori elevati per prati e latifoglie e un poco inferiori per conifere se ne descrive lo stato di salute. Questo può essere un indizio importante per la presenza di disomogeneità nel primo sottosuolo (ad esempio paleoalvei, cavità, muri sepolti, ecc.). Nella figura lo stato fisico è rappresentato con una scala convenzionale di colori crescente dal blu verso il giallo.



**Fig. 40.** Immagine panoramica eseguita da Lenzima d’Isera. Usando la maschera per eliminare le zone vegetate si mettono in evidenza le sole superfici inerti. Queste possono essere separate in classi per mezzo della funzione centro di radianza CenRad che è di fatto il “baricentro” delle intensità di una serie contigua di bande. Nel nostro caso, disponendo della selezione di bande:

B1 440 [nm]; B2 560 [nm]; B3 680 [nm]; B4 740 [nm]

si ha

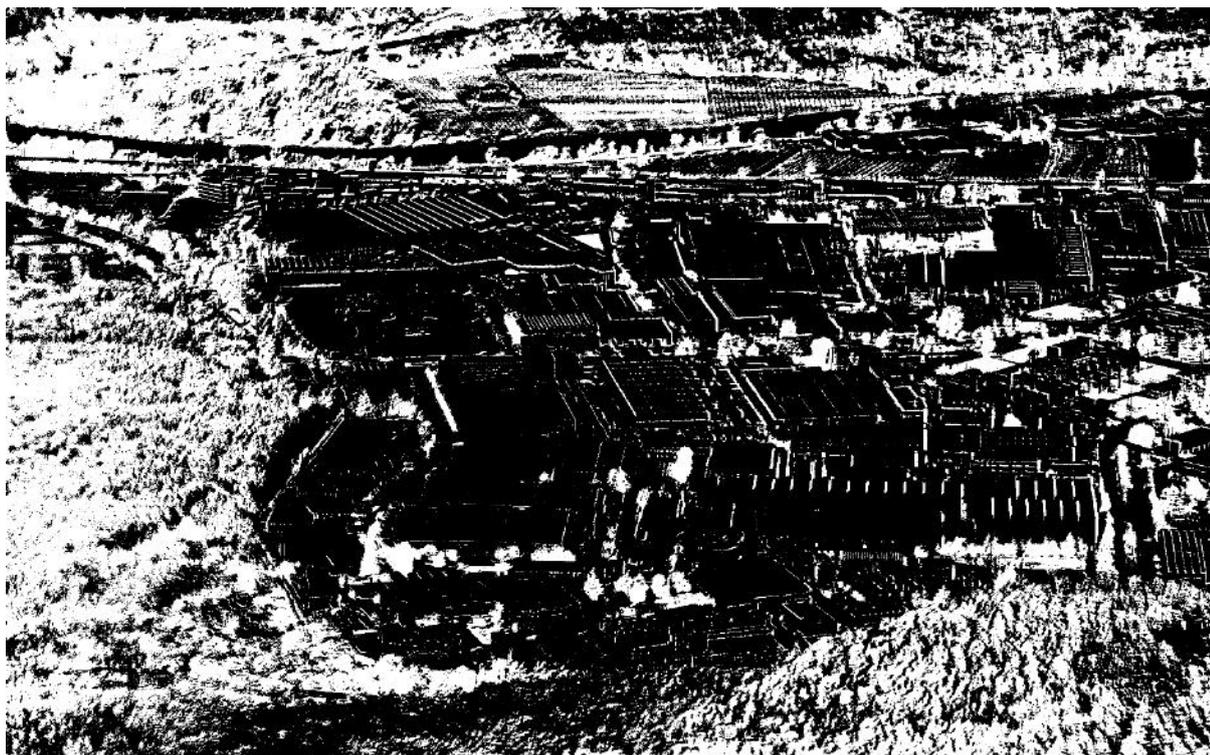
$$\text{CenRad} = (B1 \times 440 + B2 \times 560 + B3 \times 680 + B4 \times 740) / (B1 + B2 + B3 + B4)$$

Nella figura le diverse superfici inerti sono presentate con una scala convenzionale a colori a seconda del materiale che le costituisce.

Da qui in avanti le immagini elaborate sono state rilevate dalla postazione sulla strada per Monte Zugna.



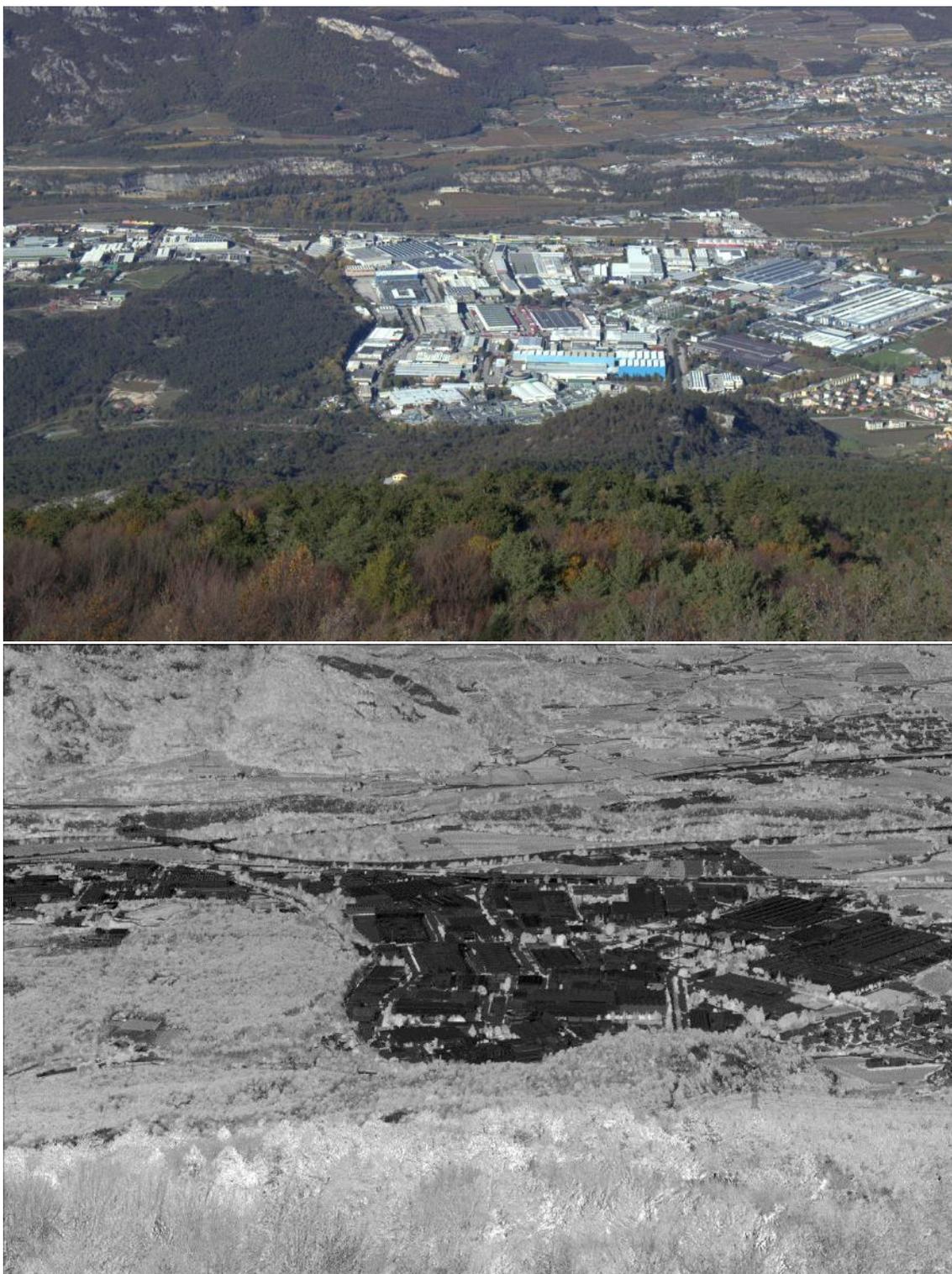
**Fig. 41.** Immagine panoramica eseguita da Monte Zugna. Andamento dell'indice di densità dell'apparato fogliare (NDVI): si noti la netta separazione tra superfici inerti (grigio scuro) e superfici vegetate (con grigio sempre più chiaro passando da conifere a latifoglie).



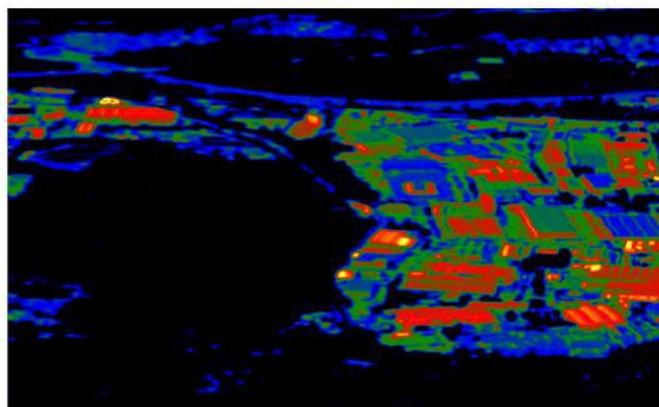
**Fig. 42.** Immagine panoramica eseguita da Monte Zugna. Maschera numerica di separazione inerte-vegetato, in nero l'inerte in bianco il vegetato



**Fig. 43.** Immagine panoramica eseguita da Monte Zugna. Delta albedo ore 11-ore 15 normalizzato alla somma:  $|\text{albedoH11}-\text{albedoH15}|/(\text{albedoH11}+\text{albedoH15})$ . Le invarianti sono rappresentate con cromatismi che vanno dal nero al grigio scuro. Con questo metodo non risaltano piccole variazioni dovute a deposizione di polvere o a rifacimenti locali di coperture e pareti, per individuare i quali si faccia riferimento alla figura 33.



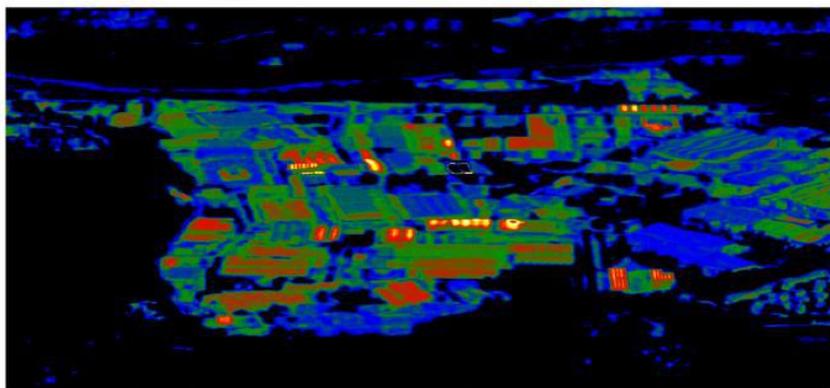
**Fig. 44.** Immagine panoramica eseguita da Monte Zugna nel visibile (sopra) a confronto con il centro di radianza (sotto): quest'ultimo fornisce informazioni su classi di superficie, ossia discrimina a grandi linee i materiali delle diverse superfici. L'andamento del centro di radianza è reso in toni 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



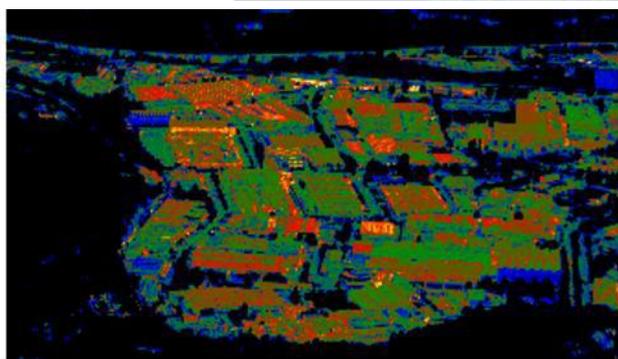
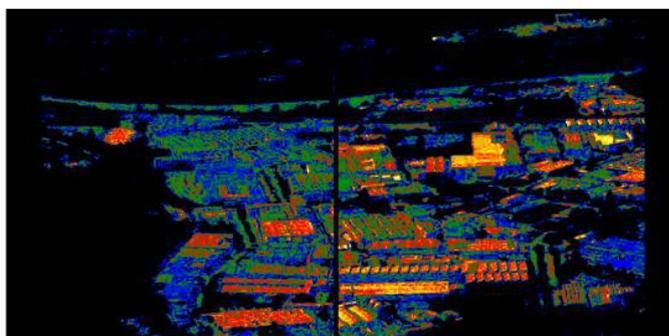
Classi di superfici  
da  
700 - 750 nm

estate 2018

estate 2019



estate 2020



fine estate 2022

**Fig. 45.** Riprese da Monte Zugna: saggio di classificazione di superfici inerti sulla base del confronto fra bande a 700 e 750 [nm] in codice di colori. Nelle immagini una maschera numerica ha separato l'inerte dal vegetato perciò è visibile solo l'inerte. Ci sono piccole variazioni di colore tra un anno e l'altro che fanno intuire come alcune superfici abbiano subito dei cambiamenti forse dovuti anche alla diversa deposizione delle polveri.

### 3. Conclusioni

Il monitoraggio ambientale eseguito dalla Fondazione MCR sul territorio comunale di Rovereto nell'anno 2022 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 eccezione i mesi di marzo, aprile e maggio, quando i collaboratori hanno riscontrato un certo aumento degli episodi sgradevoli che la macchina invece non ha colto, e il mese di gennaio che invece, al contrario, ha visto un sensibile accrescimento di episodi intensi rilevati dal naso elettronico che i nasi umani non hanno segnalato. Da quando è cominciato il monitoraggio degli odori in zona industriale, questo è stato l'anno con meno segnalazioni di molestia da parte dei cittadini.

**- Il monitoraggio della qualità dell'aria in ZTL a Rovereto in termini di polveri totali sospese (TSP)**. Il campionamento con la strumentazione del laboratorio mobile comunale, 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 calcolati” per le PM10 sensibilmente più bassi rispetto alla centralina di APPA posta in via Manzoni. I valori di concentrazione delle polveri nell'aria di Rovereto, nei periodi considerati, in ZTL, sono risultati quindi ampiamente al di sotto dei limiti di legge e apparentemente molto simili a quelli di zone remote.

**- Il monitoraggio meccanico della qualità dell'aria in ZTL a Rovereto in termini di metalli pesanti**. Il campionamento con la strumentazione del laboratorio mobile comunale, ha evidenziato, nelle settimane di attività, come i valori giornalieri dei vari metalli pesanti presenti nell'aria siano stati solitamente ampiamente al di sotto dei limiti di concentrazione media annua raccomandati dall'OMS per la protezione della salute umana. Questo è avvenuto sia su via Roma che su via Tartarotti, andando a rientrare sempre in quantità che sarebbero state tipiche di zone remote, tranne che per Zinco, Vanadio e Nichel che, in via Tartarotti, hanno invece avuto concentrazioni medie proprie dei centri urbani. Il Nichel in particolare, il 28 gennaio e soprattutto l'11 febbraio, è andato ad aumentare in maniera considerevole rispetto alle altre giornate e, l'11 febbraio, è salito ben al di sopra dei valori tipici delle aree cittadine. Il dato medio nelle due settimane di campionamento ha però riportato la concentrazione entro i limiti che sarebbero propri dei centri urbani. Negli stessi due giorni anche la concentrazione del cromo è stata piuttosto elevata, ma allo stesso modo, la scarsa concentrazione degli altri giorni ha riportato la quantità media delle due settimane entro il range che sarebbe invece tipico delle aree remote. Il campionamento ha fotografato quindi una soddisfacente situazione della qualità dell'aria, con sporadici, limitati momenti di peggioramento che però non hanno compromesso le buone condizioni medie generali.

- **Il monitoraggio lichenico della qualità dell'aria nel comune di Rovereto in termini di metalli pesanti e idrocarburi policiclici aromatici (IPA).** Il campionamento tramite bioaccumulo lichenico, nel periodo indagato nelle 13 postazioni di rilevazione, ha mostrato come i valori giornalieri dei vari *metalli pesanti* presenti nell'aria abbiano avuto un lieve peggioramento generale rispetto alla campagna del 2019, rimanendo però sempre in quantità tali da non destare preoccupazioni particolari, con variazioni in senso negativo (come ad esempio a Noriglio, Sant'Ilario e parcheggio piscina a Rovereto) o positivo (come a San Giorgio e a Sacco) a seconda della stazione considerata. Il bioaccumulo di Rame, Piombo e Vanadio ha mostrato invece un certo miglioramento in diverse postazioni di controllo.

Per quanto riguarda gli *Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)*, nel complesso dell'area di studio, il bioaccumulo appare di modesta entità, confermando a grandi linee la situazione osservata nel 2019 e tale da non suscitare, nemmeno in questo caso, alcuna preoccupazione particolare. L'Antracene, composto non cancerogeno, ma comunque di interesse sanitario, sembra essere l'elemento più ricorrente nelle stazioni di campionamento con valori di bioaccumulo basso o moderato. Il benzo(a)pirene indicato dall'OMS come pericoloso per l'uomo non è invece risultato rilevabile con il set up analitico utilizzato.

- **Il monitoraggio del livello della falda acquifera nella zona industriale di Rovereto.** Nei primi mesi dell'anno le misurazioni riflettono la dinamica delle precipitazioni, con una certa omogeneità tra quasi tutti i pozzi controllati. Nella seconda parte del 2022 invece, a causa di prelievi e fattori locali, vi è invece una certa differenza nell'andamento del livello dei vari pozzi. La quota media dell'anno 2022 è stata di 165,7 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.** Il mite inverno 2021-2022 ha permesso all'insetto una rapida colonizzazione dei territori monitorati già dalla primavera, e così a inizio giugno il 60% delle stazioni risultava positiva. Nella seconda metà di agosto ha raggiunto il picco stagionale prossimo al 90%, quindi con valore analogo a quanto registrato lo scorso anno. L'infestazione è andata poi progressivamente a diminuire, anche se in modo irregolare, soprattutto nelle ultime settimane di monitoraggio. 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.

- **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 2022, con più uscite per un totale di 750 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, indirettamente, primo sottosuolo). La serie temporale

rilevata finora va dal 2018 al 2022 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](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 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.

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.

Si ringrazia il sig. Fabrizio Todesco per avere permesso l'accesso alla piattaforma dell'ex tiro a segno di Lenzima di Isera per le riprese iperspettrali.

## APPENDICE

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

#### Sintesi additiva

L'intensità di terne di 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

$$R_{650} > \text{rosso}$$

$$R_{550} > \text{verde}$$

$$R_{450} > \text{blu}$$

#### 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 "amorfe".

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

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

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.