

CAMPAGNA DI BIOMONITORAGGIO 2022 CON LICHENI EPIFITI BIOACCUMULATORI NEL COMUNE DI ROVERETO - TRENTO



**Dr.ssa Federica Bertola & Dr. Stefano Marconi,
Fondazione Museo Civico Rovereto**

**Supervisione scientifica
Dr. Juri Nascimbene, Dipartimento BiGeA,
Università degli Studi di Bologna**

Novembre, 2022

INDICE

1. PREMESSA	3
2. MATERIALI E METODI CAMPAGNA 2019	5
2.1 Le stazioni di campionamento	5
2.2 Campionamento ed esposizione dei talli lichenici espantati	6
2.3 Caratterizzazione climatica nel periodo di monitoraggio	7
2.4 Preparazione dei campioni di <i>Pseudevernia furfuracea</i> per le analisi di laboratorio	7
2.5 Analisi dei metalli in traccia	8
2.6 Analisi degli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)	8
2.7 Analisi dei dati e scala di interpretazione dei risultati	8
3. RISULTATI.....	10
3.1 Condizioni climatiche nel periodo del monitoraggio	10
3.2 Bioaccumulo in espanti di <i>Pseudevernia furfuracea</i> e comparazione con le campagne precedenti	11
4. CONCLUSIONI	15
BIBLIOGRAFIA	16

1. PREMESSA

I licheni epifiti vengono spesso utilizzati come bioaccumulatori nelle indagini sulla qualità dell'aria (Loppi, 1999, Cecconi et al., 2019). Questi organismi, per le loro caratteristiche fisiologiche e strutturali, sono in grado di assorbire molte sostanze presenti nell'atmosfera e di accumularle. L'analisi chimica dei talli lichenici permette quindi di misurare le concentrazioni di inquinanti all'interno di questi organismi e di valutare il loro pattern di deposizione nell'area di studio (ANPA, 2001; Nimis & Bargagli, 1999, Nimis et al., 2002). Questo tipo di approccio consente di verificare trend temporali mediante campagne di biomonitoraggio con campionamento ripetuto nel tempo.

La presente relazione è incentrata sui risultati della quarta campagna di biomonitoraggio sul territorio comunale roveretano condotta nell'inverno 2022, dopo quelle del 2014, 2016 e 2019.

Nel suo complesso, il progetto avviato nel Comune di Rovereto nel 2013 si è così articolato e sviluppato negli anni:

- nel 2014 e nel 2016, analisi di elementi in traccia (metalli) quantificati su materiale lichenico autoctono raccolto in 13 stazioni (di cui 10 campionate sia nel 2014 che nel 2016 e 3 aggiunte nel 2016) distribuite sull'intero territorio comunale. L'attuazione del progetto secondo questa tecnica di biomonitoraggio è stata possibile grazie alla presenza in loco di specie licheniche adatte. In particolare, l'indagine si è svolta utilizzando la specie *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr., lichene ampiamente impiegato in Italia in studi di questo tipo (per esempio Loppi, 1999; Tretiach & Baruffo, 2001);
- dal 2016 in poi, analisi degli elementi in traccia e dal 2019 anche degli Idrocarburi Policiclici Aromatici¹, d'ora in poi indicati con la sigla IPA. Si sono esposti talli della specie *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf. v. *furfuracea*, raccolti in una località

¹ *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).*

remota (dintorni del lago di Calaita, Comune di Primiero-San Martino di Castrozza, Provincia di Trento). Le analisi sono state eseguite sul materiale lichenico espiantato ed esposto per due mesi nelle 13 stazioni già interessate anche dal campionamento di *Xanthoria parietina*. Per il biomonitoraggio con espianti un adeguato quantitativo di materiale è stato conservato come “bianco” di confronto per le successive analisi di laboratorio.

Con il ricorso agli espianti lichenici si è quindi applicata una tecnica sempre più utilizzata per la sua relativa praticità rispetto all’uso di licheni autoctoni (per esempio Frati et al., 2005; Gallo et al., 2014; Kodnik et al., 2015; Malaspina et al., 2014, Cecconi et al., 2019) anche per la minor dipendenza dalle condizioni meteorologiche².

- Nella campagna 2022, utilizzando le stesse stazioni del 2019, si è scelto di usare solo materiale espiantato, in modo da sottoporre ad analisi, per ciascun sito, tre campioni per i metalli e un campione per gli IPA. Inoltre si è messo da parte del materiale, non esposto, da usare per un confronto con le condizioni pre-esposizione.

² I tassi di bioaccumulo sono legati alle condizioni climatiche. Nel caso di licheni in posto questa dipendenza va particolarmente tenuta in considerazione valutando le condizioni meteorologiche (piovosità e temperatura in primis ma anche vento) su una finestra temporale significativa che comprenda – nel caso di campagne di monitoraggio ripetute negli anni sulle stesse stazioni e di cui si vuol confrontare i risultati – l’intervallo trascorso tra la campagna precedente e l’ultima.

2. MATERIALI E METODI CAMPAGNA 2022

2.1 Le stazioni di campionamento

Con questa quarta campagna di biomonitoraggio (gennaio – marzo 2022) sul territorio del Comune di Rovereto si sono prese in esame le stazioni (Tabella 1) già analizzate nelle tre precedenti, svoltesi nell'inverno 2014, 2016 e 2019.

ID	LAT.	LONG.	QUOTA (s.l.m.)	NOTE
2	45,8976°	11,0426°	234 m	Rovereto, Viale Trento (dal civico 6 al 10)
7	45,8973°	11,0283°	191 m	Rovereto, parco San Giorgio, via Europa
8	45,8849°	11,0223°	192 m	Rovereto, Sacco, parco di fronte al complesso ex Manifattura
9	45,8696°	11,0209°	184 m	Rovereto, Viale dell'Industria
11	45,8837°	11,0702°	402 m	Rovereto, Noriglio, davanti alla Chiesa
12	45.9134°	11.0433°	195 m.	Rovereto, Sant'Ilario, giardini pubblici
13	45,8409°	11,0075°	144 m	Rovereto, Marco, giardino esterno scuole elementari
14	45,8672°	11,0369°	236 m	Rovereto, Lizzana alta, giardini di Corna Calda
15	45,8848°	11,0355°	166 m	Rovereto, parcheggio presso l'impianto natatorio comunale, lato asilo
17	45,8847°	11,0415°	254 m	Rovereto, vicolo Tintori 14-16 (zona Lungo Leno sinistro)
18	45.8495°	11.0020°	164 m	Rovereto, Parcheggio A22; dal 2016
19	45.8663°	11.0238°	180 m	Rovereto, Viale del Lavoro; dal 2016
20	45.8557°	11.0048°	187 m	Rovereto, Via alle Fornaci; dal 2016

Tab. 1. Localizzazione geografica (coordinate espresse in gradi decimali secondo il sistema geografico WGS84), quota e indicazioni stradali relative alle 13 stazioni utilizzate per il progetto di biomonitoraggio nel Comune di Rovereto nel 2014, nel 2016, nel 2019 e nel 2022.

2.2 Campionamento ed esposizione dei talli lichenici espianati

Come anticipato in premessa, anche nella campagna 2022 si è scelto di lavorare solo con talli espianati del lichene *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf. v. *furfuracea*, esposti sulle stesse stazioni delle campagne di biomonitoraggio precedenti. I talli sono stati raccolti il 04 gennaio 2022 nei dintorni del lago di Calaita (quota 1620 m s.l.m., Lat. 46.200372° e Long. 11.794280°), Comune di Primiero-San Martino di Castrozza (un tempo Comune di Siror), Provincia di Trento. Il materiale proviene da un'unica popolazione presente sui rami (a una altezza tra i due e i quattro metri da terra) di vari esemplari di larice (*Larix decidua* Mill.) ravvicinati gli uni agli altri. Il materiale è stato raccolto recidendo segmenti di ramo lunghi 30÷40 cm, trasportato in laboratorio in sacchetti di carta e lasciato essiccare a temperatura ambiente in condizioni di penombra.

Per l'esposizione sono stati selezionati soltanto talli moderatamente isidiati e privi di corpi fruttiferi. Inoltre si è evitato l'utilizzo di talli in cui fossero evidenti colonizzazioni fungine o altri elementi di danneggiamento. Lo stesso approccio si è usato per selezionare i talli da usare come bianco di confronto, vale a dire talli che non sono stati esposti dopo il prelievo dal sito originario di Calaita.



Fig. 2. Fasi dell'esposizione dei rametti con i talli del lichene *Pseudevernia furfuracea* nella stazione n. 8 di Borgo Sacco (17 gennaio 2022, foto Federica Bertola).

In ogni stazione di monitoraggio sono stati esposti due - tre rametti recanti almeno due - tre talli ciascuno. I rametti sono stati fissati direttamente sui rami più esterni degli alberi presenti nelle stazioni, a una altezza di circa tre - quattro metri da terra (Figura 2). Il

materiale è stato esposto il giorno 17 gennaio 2022 e ritirato il 15 marzo 2022, dopo circa due mesi di esposizione. I campioni sono stati quindi trasportati al laboratorio della Fondazione MCR e lasciati disidratare a temperatura ambiente per almeno 24 ore.

2.3 Caratterizzazione climatica nel periodo di monitoraggio

Le condizioni climatiche (precipitazioni, temperatura ma anche direzione e intensità del vento) possono influenzare i tassi di bioaccumulo nei talli lichenici. In particolare, le precipitazioni più o meno abbondanti possono determinare processi di accumulo/dilavamento di cui tener conto nella fase interpretativa dei risultati di un biomonitoraggio (Brown e Brown, 1991; Malaspina et al., 2014). Come riportato in nota, in Premessa, questo aspetto può risultare critico nel confronto tra campagne successive con l'utilizzo di talli in posto, ma rimane importante anche per le campagne con talli espianati. In questo caso la finestra temporale da considerare si limita al periodo di esposizione, vale a dire i due mesi di permanenza dei talli in esterno. Per tale motivo, anche al fine di supportare l'interpretazione comparativa tra campagne di biomonitoraggio successive, in tal caso 2016 (dal 25 febbraio al 28 aprile), 2019 (dal 21 gennaio al 21 marzo) e 2022 (dal 21 gennaio al 21 marzo) si sono presi in esame i dati di temperatura, precipitazione e vento relativi ai rispettivi periodi di esposizione. A tal fine si sono utilizzate le rilevazioni della Stazione Meteorologica di San Rocco, Rovereto (TN), dal sito di Meteotrentino.

2.4 Preparazione dei campioni di Pseudevernia furfuracea per le analisi di laboratorio

Per ciascuna stazione si sono ottenuti, utilizzando le parti terminali dei lobi dei talli lichenici per una lunghezza di circa 2.5 cm, 3 campioni di almeno 300 mg ciascuno (vale a dire circa 900 mg di materiale totale per stazione) per le analisi dei metalli e 1 campione, sempre di almeno 300 mg, per l'analisi degli IPA. In aggiunta, come bianco di riferimento, si sono realizzati 5 campioni del materiale pre-esposizione (vale a dire non esposto), conservato accuratamente da parte.

Pertanto i campioni così ottenuti, e successivamente analizzati presso due diversi laboratori, sono stati in totale 62. Dolomiti Energia Holding S.p.a. si è occupato dell'analisi dei metalli pesanti, curando anche la fase di predisposizione dei singoli campioni alla misura (sminuzzamento e polverizzazione dei talli), mentre TERALAB S.r.l. che si è occupato della quantificazione degli IPA, non ha effettuato la predisposizione dei talli e perciò questa fase preliminare all'analisi è stata svolta nel laboratorio della Fondazione MCR.

Si ricorda infine che nel 2016 si era operato diversamente per la parte di monitoraggio con lichene espuntato e esposto: per ciascuna stazione si era realizzato infatti un unico campione di *Pseudevernia furfuracea* per la sola analisi dei metalli. Nel 2019 invece si era agito in maniera speculare a quanto fatto nel 2022.

2.5 Analisi dei metalli in traccia

Per gli espunti di *Pseudevernia furfuracea* le analisi hanno interessato 16 elementi in traccia: Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Fe, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Zn, V.

Le misure sono state realizzate con spettrometria di massa, ICP-MS, strumento Nexion 350x PerkinElmer, fatta eccezione per la determinazione del Mercurio per cui si è usato lo spettrometro ad assorbimento atomico FIMS 100 PerkinElmer. E secondo i seguenti standard: EPA 3051A 2007 + EPA 6010D 2014 per Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Zn, V, e EPA 3051A 2007 + EPA 7471B 2007 per Hg.

2.6 Analisi degli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)

Per gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) le analisi si sono concentrate su Pirene, Benzo(a)antracene, Crisene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(k)fluorantene, Benzo(e)pirene, Benzo(a)pirene, Perilene, Indeno(1,2,3cd)pyrene, Dibenzo(a,h)antracene, Benzo(g,h,i)perilene, Naftalene, Acenaftilene, Acenaftene, Fluorene, Fenantrene, Antracene, Fluorantene.

Le misure sono state realizzate con tecnica gascromatografica accoppiata a spettrometria di massa, con sistema GC-triploquadrupolo Termo Scientific Trace1300 accoppiato a TSQ8000, secondo lo standard: EPA 3550C + EPA 8270D 2014.

2.7 Analisi dei dati e scala di interpretazione dei risultati

Il rapporto adimensionale tra la concentrazione di ciascun elemento misurata nei campioni esposti e quella corrispondente nei campioni di controllo (valore medio dei tre campioni di controllo detti anche bianchi), denominato EU ratio, *Exposed-to-unexposed ratio* (Cecconi et al., 2019), è stato utilizzato per valutare i tassi di accumulo nei talli lichenici nelle diverse stazioni. Questo è stato possibile per tutti i metalli in traccia sempre misurabili anche nei bianchi di confronto.

Per gli IPA si è potuto calcolare l'EU ratio solo per Antracene, Fenantrene, Fluorantene e Naftalene poiché nei rimanenti casi si sono ottenuti valori al di sotto del limite di rilevabilità nei campioni bianchi.

Mentre nel 2016 l'interpretazione dei tassi di accumulo è stata basata sulla scala in cinque classi dei valori del rapporto EC (*Exposed-to-control ratio*, vale a dire il nome precedente dell'*EU ratio*) proposta da Frati et al. (2005; Tabella 4), dal 2019 si è adottato l'approccio indicato nelle linee guida descritte nel lavoro di Cecconi et al. (2019), che introduce una nuova scala sempre in classi ma con intervalli diversi rispetto alla precedente, variabili anche in funzione delle settimane di esposizione. In tal caso si considerano le classi relative a otto settimane vista la durata della campagna di monitoraggio 2022 (Tabella 5).

Rapporto EC	Accumulo/perdita	Sigla
0-0.25	Perdita accentuata	PP
0.25-0.75	Perdita	P
0.75-1.25	Normale	N
1.25-1.75	Accumulo	A
>1.75	Accumulo accentuato	AA

Tab. 4. Scala di interpretazione dei valori del rapporto EC desunta da Frati et al., 2005, usata per l'interpretazione della campagna 2016.

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. 5. Scala di interpretazione dei valori del rapporto EU desunta da Cecconi et al., 2019, 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".

Il parametro *EU ratio* è stato così ottenuto:

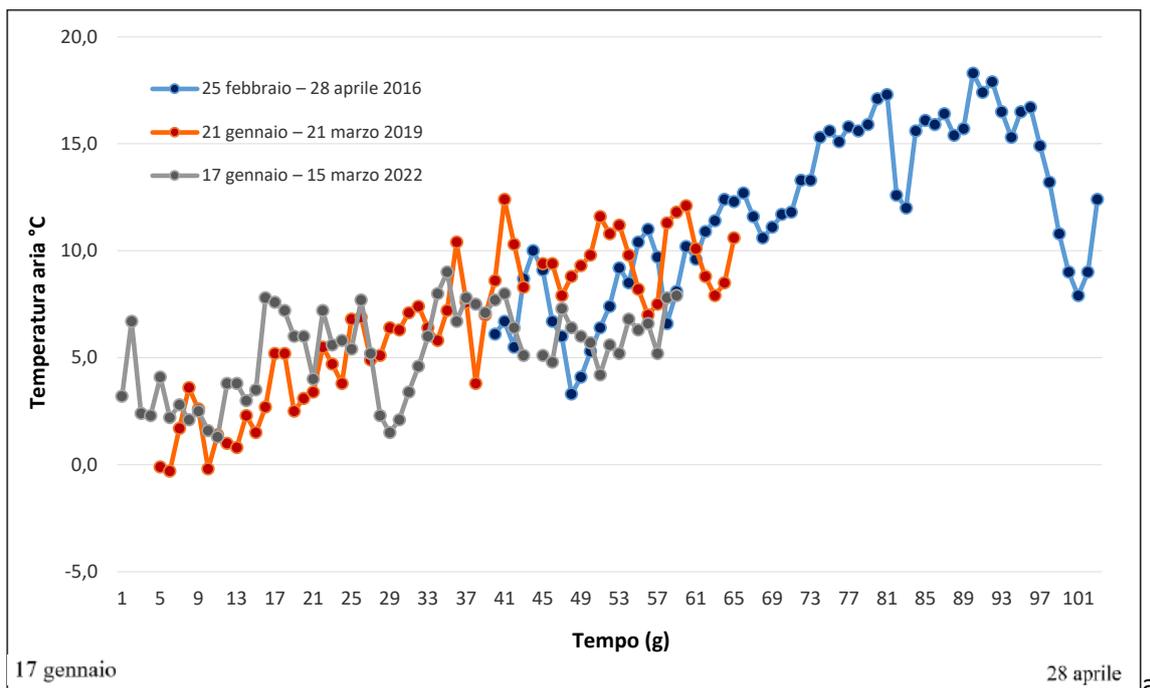
- Per ogni stazione si è calcolato il rapporto fra il valore medio di ciascun analita (es. Al) nei tre campioni esposti e il valore medio dello stesso analita (es. Al) misurato nei campioni di confronto maggiorato del valore triplo della deviazione standard per attenuare l'effetto legato alla intrinseca variabilità di concentrazione nei campioni pre-esposizione.
- Per ogni analita (es. Al) si è calcolato l'*EU ratio* medio per l'area di studio considerando il suo bioaccumulo medio su tutte le stazioni.

3. RISULTATI

3.1 Condizioni climatiche nel periodo del monitoraggio

Dall'analisi dei dati climatici risulta che per i periodi esaminati: la temperatura media dell'aria è stata superiore nel 2016 rispetto sia al 2019 sia al 2022 (Figura 3a), con valore medio sul periodo di esposizione di $(11.8 \pm 3.5)^\circ\text{C}$ nel 2016, $(6.5 \pm 3.5)^\circ\text{C}$ nel 2019 e $(5.3 \pm 3.5)^\circ\text{C}$ nel 2022; le precipitazioni cumulate nel periodo risultano dello stesso ordine di grandezza (Figura 3b) seppur superiori in termini assoluti nel 2016 e nel 2019 (131 mm vs 121 mm), mentre sono solo di 42 mm nel 2022; infine per quanto riguarda il vento, il periodo di esposizione 2016 ha presentato un livello di intensità media tendenzialmente superiore a quello del 2019 e del 2022 (Figura 3c) che sono invece comparabili.

I due periodi di esposizione dei talli lichenici del 2019 e del 2022 hanno coperto un periodo dell'anno pressoché identico, mentre l'intervallo di esposizione del 2016, pur afferendo a un momento dell'anno differente, risulta comunque confrontabile con gli altri dal punto di vista climatico.



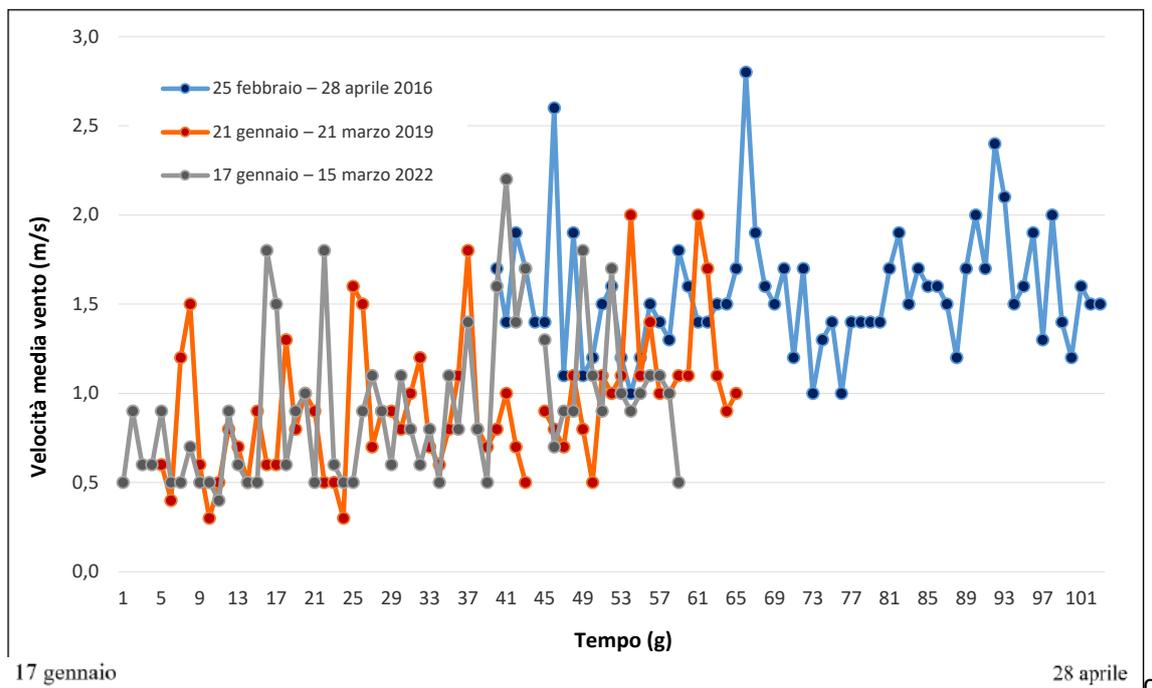
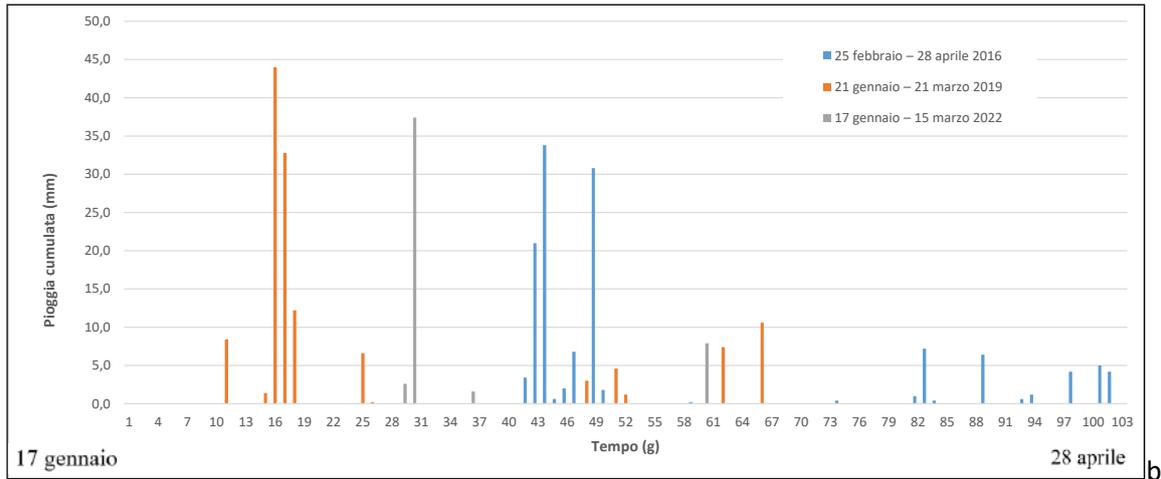


Fig. 3. I tre grafici frutto dell'analisi e del confronto dei dati meteorologici dei periodi di esposizione dei talli lichenici espiantati durante le campagne di biomonitoraggio 2016, 2019 e 2022. Sopra, Fig. 3a, il grafico riporta in ascisse il Tempo espresso in giorni e in ordinate la temperatura media dell'aria (giornaliera) in gradi centigradi. Al centro, Fig. 3b, il grafico riporta in ascisse il Tempo espresso in giorni e in ordinate la pioggia cumulata (giornaliera) espressa in millimetri. Infine in basso, Fig. 3c, il grafico riporta in ascisse il Tempo espresso in giorni e in ordinate la velocità media del vento (giornaliera) espressa in metri al secondo.

3.2 Bioaccumulo in espianti di *Pseudevernia furfuracea* e comparazione con le campagne precedenti

I valori di EU indicano che i talli espiantati e esposti durante la campagna 2022 nelle tredici stazioni roveretane hanno accumulato quasi tutti gli elementi in traccia considerati, eccetto il Vanadio (Tabella 6).

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. 6 - Sintesi dei tassi di bioaccumulo per ciascun metallo in ciascuna stazione. Le sigle corrispondono alle cinque classi interpretative del bioaccumulo per licheni espuntati (vedi Tab. 5 Cecconi et al., 2019). Qui non si è considerato il Sodio, Na, che non è contemplato nel lavoro di Cecconi et. Al (2019) e presenta valori di bioaccumulo severo per tutte le stazioni. Come detto nel testo questa situazione particolare di bioaccumulo potrebbe essere spiegata col trattamento delle strade in periodo invernale.

Rispetto al 2019 si rileva che un numero maggiore di stazioni ha accumulato As, Ca, Cd, Cr, Hg, Mg e Mn, mentre sono diminuite le stazioni con accumulo di Ni e Pb. Per Al, Co, Cu, Fe e Zn la situazione è rimasta pressoché invariata. Nei casi di accumulo il livello è generalmente basso (L), mentre solo per il Cu nelle stazioni 9, 12 e 18 si hanno livelli medi (M). Un caso a parte è rappresentato dal Sodio (non riportato in tabella) la cui presenza è

legata probabilmente a trattamento con sali delle strade in periodo invernale. Come nella campagna precedente questo elemento ha valori molto elevati di bioaccumulo (S).

Tra le stazioni che hanno accumulato un maggior numero di elementi vi sono Sant'Ilario (stazione 12) con 13 elementi, Viale Trento (stazione 2) e il parcheggio della piscina comunale/asilo (stazione 15) con 12. Seguono Noriglio (stazione 11) che nel 2019 aveva invece registrato un bioaccumulo quasi nullo, e Marco (stazione 13) con 10 elementi, a cui si aggiungono il parcheggio A22 (stazione 18) e via delle Fornaci (stazione 20) con 9. Al contrario il parco di S. Giorgio (stazione 7) e Sacco (stazione 8), che nel 2019 avevano fatto registrare la presenza di un maggior numero di sostanze, rispettivamente 7 e 3 seppur in quantità modeste (L), quest'anno hanno accumulato soltanto un elemento (Cu in entrambi i casi). I siti di Lizzana (stazione 14) e Vicolo Tintori (stazione 17) hanno invece fatto registrare soltanto 3 elementi, Fe e Mn nel primo caso e Cr e As nel secondo, oltre al Cu in entrambe.

Nel complesso, i risultati di questo biomonitoraggio basato sull'approccio mediante espunti lichenici indicano che nell'area comunale i principali inquinanti che sono stati assorbiti dai talli lichenici sono: Cobalto, Rame, Ferro, Cromo e Zinco. Segnano un rialzo nel numero di stazioni interessate alcuni elementi potenzialmente dannosi come l'As registrato in 8 stazioni con valori tuttavia bassi (L) di bioaccumulo. Il Cu, la cui presenza è probabilmente associata ad attività industriali e agricole, si conferma come l'elemento maggiormente critico, presente in tutte le stazioni anche con valori medi (M) di bioaccumulo.

Per quanto riguarda gli IPA, solo alcuni sono risultati al di sopra della soglia di rilevanza strumentale: Antracene, Crisene (non nei campioni del bianco), Fenantrene, Fluorantene, Fluorene (non nei campioni del bianco), Naftalene e Pirene (non nei campioni del bianco). Nel complesso, l'accumulo di IPA nell'area di studio appare di modesta entità (Tabella 8) confermando a grandi linee la situazione registrata nel 2019 quando tuttavia si erano registrati valori di bioaccumulo (sempre basso o moderato) 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. Soltanto nelle stazioni 17 e 19 non si registra accumulo di questo inquinante.

Fenantrene e Fluorantene sono stati accumulati (con valori bassi) in 6 e 5 stazioni rispettivamente, mentre non si registra bioaccumulo per il Naftalene (anche i valori relativamente elevati registrati nei campioni bianchi).

Stazione	Antracene (mg/Kg)	Crisene (mg/Kg)	Fenantrene (mg/Kg)	Fluorantene (mg/Kg)	Fluorene (mg/Kg)	Naftalene (mg/Kg)	Pirene (mg/Kg)
Bianco - B1	0,06	< LOD	0,07	< LOD	< LOD	1,45	< LOD
Bianco - B2	< LOD	< LOD	0,07	0,03	< LOD	1,55	< LOD
Bianco - B3	< LOD	< LOD	0,08	0,03	< LOD	1,92	< LOD
Bianco - B4	< LOD	< LOD	0,07	0,03	< LOD	2,05	< LOD
Bianco - B5	< LOD	< LOD	0,08	0,03	< LOD	1,38	< LOD
L2	0,09	0,07	0,67	0,64	0,05	0,50	0,39
L7	0,07	0,09	0,73	0,83	0,06	0,50	0,52
L8	0,09	0,11	0,87	0,98	0,06	0,58	0,63
L9	0,09	0,10	0,65	0,74	0,06	0,42	0,55
L11	0,07	0,07	0,56	0,58	0,04	0,80	0,34
L12	0,09	0,12	0,63	0,89	0,04	0,62	0,61
L13	0,13	0,11	0,86	0,98	0,05	0,58	0,69
L14	0,07	0,05	0,41	0,42	0,05	0,55	0,20
L15	0,08	0,08	0,56	0,49	0,05	0,44	0,30
L17	0,04	0,06	0,32	0,39	< LOD	0,56	0,22
L18	0,10	0,08	0,68	0,60	0,06	0,54	0,40
L19	0,05	0,07	0,51	0,52	0,04	0,60	0,34
L20	0,07	0,09	0,55	0,60	0,04	0,78	0,39

Tab. 7 – Concentrazioni degli IPA con valori sopra il limite di rilevabilità

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. 8 - 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 espuntati (vedi Tab. 5 Cecconi et al., 2019).

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.

4. CONCLUSIONI

Con questa terza campagna di biomonitoraggio nel Comune di Rovereto si è ripetuto, nello stesso periodo dell'anno (inverno) il campionamento eseguito nel 2019 basato sull'esposizione di talli lichenici in 13 stazioni e sulla determinazione dell'eventuale accumulo di 16 elementi in traccia e di IPA.

La maggior parte degli IPA ha dato valori sotto la soglia di rilevabilità strumentale sia nei campioni esposti che in quelli di controllo, a significare che se l'accumulo ci fosse anche stato non è risultato a livelli rilevabili con il set up analitico utilizzato. Le uniche considerazioni riguardano Antracene, Fenantrene e Fluorantene per i quali tuttavia si registrano situazioni di bioaccumulo basso o assente (solo in un caso moderato per l'Antracene).

Per i metalli è sempre stato possibile calcolare l'*EU ratio*. Si può osservare che nel 2022 le stazioni potenzialmente critiche sono in buona parte diverse rispetto a quelle del 2019: 2, 11, 12, 13, 15, anziché 2, 7, 9, 18, 19, 20, con un maggior coinvolgimento delle aree urbane. Nel loro complesso i dati sui metalli suggeriscono che sostanzialmente non ci sono evidenti situazioni di marcato bioaccumulo, né evidenti cambiamenti rispetto al 2019. Tuttavia, si registra una leggera tendenza al peggioramento indicata da un crescente numero di elementi accumulati in un maggior numero di stazioni. Viene confermata ormai per la terza volta la criticità legata al Rame, unico elemento ad essere stato accumulato in tutte le stazioni, in tre delle quali con valori medi (M).

Alla luce di quanto qui riportato, la campagna di biomonitoraggio 2022, su una rete di controllo multitemporale materializzata nel 2014, consente di confermare la persistenza di alcune potenziali criticità nel territorio comunale, in relazione all'inquinamento atmosferico.

Confidando nel proseguimento del progetto, si consiglia di ripetere l'indagine di biomonitoraggio mediante espunti lichenici con cadenza biennale. La prossima campagna andrebbe quindi programmata per i primi mesi del 2024.

BIBLIOGRAFIA

ANPA, 2001. I.B.L. Indice di Biodiversità Lichenica. Manuali e Linee Guida 2/2001. 85 pp.

Bargagli R., Nimis P.L., 2002. Guidelines for the use of epiphytic lichens as biomonitors of atmospheric deposition of trace elements. In: Nimis P.L., Scheidegger C., Wolseley P.A. (Eds.), *Monitoring with Lichens e Monitoring Lichens*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 295-299.

Brown D.H., Brown R.M., 1991. Mineral cycling and lichens – the physiological basis. *Lichenologist*, 23: 293–307.

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.

Frati L., Brunialti G., Loppi S., 2005. Problems related to lichen transplants to monitor trace element deposition in repeated surveys: a case study from Central Italy. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 52: 221–230.

Gallo L., Corapi A., Loppi S., Lucadamo L., 2014. Element concentrations in the lichen *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf transplanted around a cement factory (S Italy). *Ecological Indicators*, 46: 566–574.

Kodnik D., Candotto Carniel F., Licen S., Tolloi A., Barbieri P., Tretiach M., 2015. Seasonal variations of PAHs content and distribution patterns in a mixed land use area: A case study in NE Italy with the transplanted lichen *Pseudevernia furfuracea*. *Atmospheric Environment*, 113: 255-263.

Loppi S., 1999. Licheni come bioaccumulatori di elementi in traccia: stato dell'arte in Italia. In: Piccini C., Salvati S., *Atti del Workshop “Biomonitoraggio della qualità dell’aria sul territorio nazionale”*, Roma, 26-27 novembre 1998: 123-144.

Malaspina P., Giordani P., Modenesi P., Abemoschi M.L., Magi E., Soggia F., 2015. Bioaccumulation capacity of two chemical varieties of the lichen *Pseudevernia furfuracea*. *Ecological Indicators*, 45: 605–610.

Nimis P.L., Bargagli R., 1999. Linee guida per l'utilizzo dei licheni epifiti come bioaccumulatori di metalli in traccia. In: Piccini C., Salvati S., *Atti del Workshop “Biomonitoraggio della qualità dell’aria sul territorio nazionale”*, Roma, 26-27 novembre 1998: 279-287.

Nimis P.L., Skert N., Castello M., 1999. Biomonitoraggio di metalli in traccia tramite licheni epifiti in aree a rischio del Friuli-Venezia Giulia. *Sudia Geobotanica*, 18: 4-49.

Nimis P.L., Scheidegger C., Wolseley P.A. (eds.), 2002. Monitoring with lichens- Monitoring lichens. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 405 pp.

Tretiach M., Baruffo L., 2001. Deposizione di metalli nella pedemontana pordenonese. Provincia di Pordenone: 64 pp.