

**CAMPAGNA DI BIOMONITORAGGIO 2019
CON LICHENI EPIFITI BIOACCUMULATORI
NEL COMUNE DI ROVERETO - TRENTO**



Dr.ssa Federica Bertola & Dr.ssa Fabiana Zandonai,
Fondazione Museo Civico Rovereto

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

Settembre, 2019

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 espianati.....	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.....	8
2.5 Analisi dei metalli in traccia.....	8
2.6 Analisi degli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA).....	9
2.7 Analisi dei dati e scala di interpretazione dei risultati.....	9
3. RISULTATI.....	12
3.1 – Condizioni climatiche nel periodo del monitoraggio	12
3.2 Bioaccumulo in espianati di <i>Pseudevernia furfuracea</i>	13
3.3 Comparazione con la campagna 2016.....	16
4. CONCLUSIONI	17
BIBLIOGRAFIA	18

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 terza campagna di biomonitoraggio sul territorio comunale roveretano condotta nell'inverno 2019, dopo quelle 2014 e 2016.

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

- nel 2014 e 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 è basata sull'utilizzo della specie *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr., lichene ampiamente utilizzato in Italia in studi di questo tipo (per esempio Loppi, 1999; Tretiach & Baruffo, 2001);
- dal 2016, analisi di elementi in traccia nel 2016 e dal 2019 anche Idrocarburi Policiclici Aromatici¹, d'ora in poi indicati con la sigla IPA, quantificati anche su materiale lichenico espantato ed esposto per due mesi nelle 13 stazioni interessate

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).*

anche dal campionamento di *Xanthoria parietina*. Si sono esposti talli della specie *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf. v. *furfuracea*, raccolti in una località remota (dintorni del lago di Calaita, Comune di Primiero-San Martino di Castrozza, Provincia di Trento). 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 2019 si è scelto di usare, sulle stesse stazioni del 2016, solo materiale espantato, aumentando il numero di campioni esposti per stazione in modo da sottoporre ad analisi, per ciascuna stazione, tre campioni per i metalli (come avveniva per i campioni dei licheni in posto) 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 2019

2.1 Le stazioni di campionamento

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

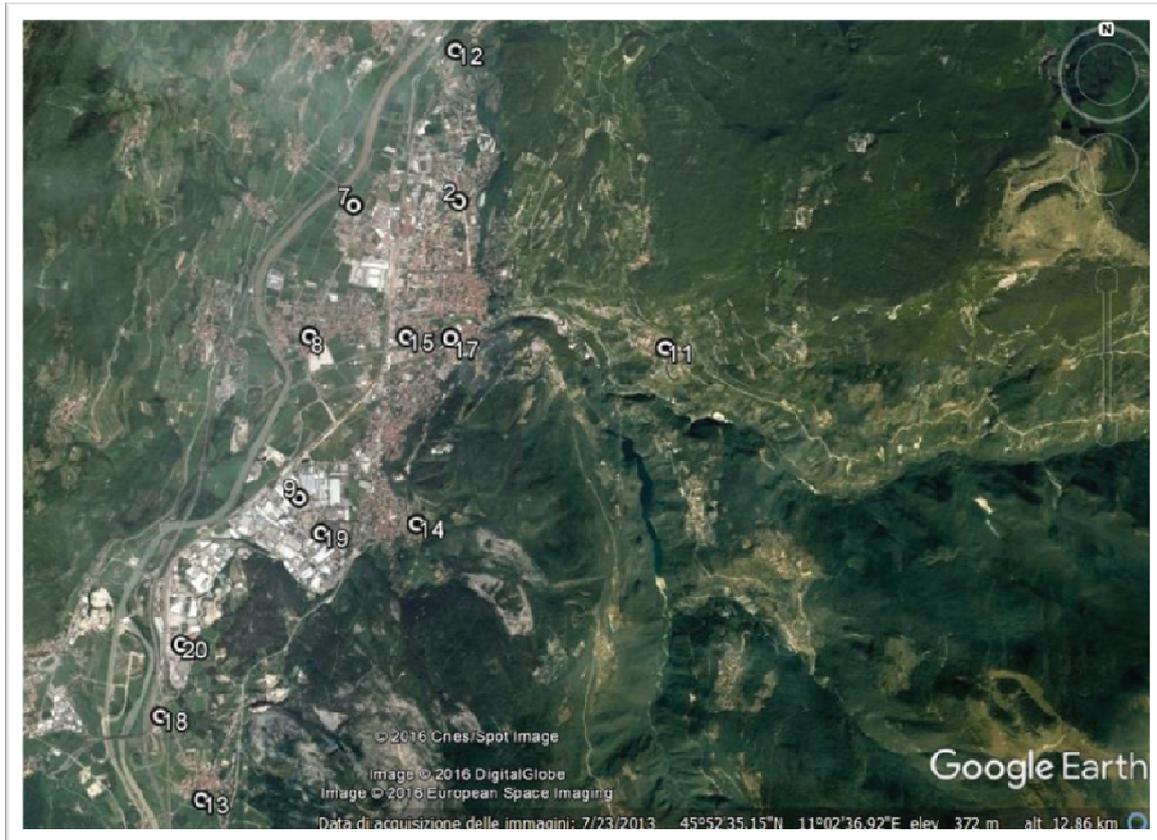


Fig. 1. Distribuzione georeferenziata delle 13 stazioni di campionamento nel territorio del Comune di Rovereto. L'immagine è stata creata con Google Earth.

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	45,9120°	11,0421°	191 m.	Rovereto, Sant'Ilario, nel parcheggio ITIS
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 e nel 2019.

2.2 Campionamento ed esposizione dei talli lichenici espantati

Come anticipato in premessa nella campagna 2019 si è scelto di lavorare solo con talli espantati del lichene *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf. v. *furfuracea*, esposti sulle stesse stazioni delle campagne di biomonitoraggio precedenti. I talli sono stati raccolti il 02 gennaio 2019 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 talli moderatamente insidiati 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. 2 di Viale Trento (21 gennaio 2019, 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 21 gennaio 2019 e ritirato il 21 marzo 2019, dopo 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 espiantati. 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) e 2019 (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), a cura di Meteotrentino³.

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 il laboratorio di Dolomiti Energia Holding S.p.a., sono stati in totale 59. Questo laboratorio ha curato anche la fase di predisposizione dei singoli campioni alla misura (sminuzzamento e polverizzazione dei talli), fase che, nelle campagne precedenti, veniva svolta nel laboratorio della Fondazione MCR.

Si ricorda infine che nel 2016 si era operato diversamente per la parte di monitoraggio con lichene espantato e esposto: per ciascuna stazione si era realizzato infatti un unico campione di *Pseudevernia furfuracea* per la sola analisi dei metalli.

2.5 Analisi dei metalli in traccia

Per gli espianti 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.

³ Selezione dei dati meteorologici, per le due finestre temporali di interesse, a cura del Dottor Filippo Orlando responsabile dell'Area Meteorologia della Fondazione MCR.

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, 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 oltre alla Sommatoria dei policiclici aromatici (D.Lgs. 152/2006), che rappresenta la somma dei policiclici aromatici pesanti.

Le misure sono state realizzate con tecnica gascromatografica accoppiata a spettrometria di massa, GC-MS, con lo strumento 7820A GC-MS System Agilent, secondo lo standard: EPA 3535A 2007 + 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 nella sua forma classica solo per il Naftalene poiché nei rimanenti casi si sono ottenuti valori al di sotto del limite di rilevabilità. L'EU ratio è stato inoltre calcolato per quegli IPA (Pirene, Naftalene, Fluorantene) per cui la concentrazione era al di sotto della soglia strumentale nei bianchi ma non nei campioni esposti, considerando in tal caso cautelativamente, avendo a disposizione un unico campione esposto per stazione, una concentrazione nei bianchi pari alla soglia strumentale. Alla Sommatoria dei policiclici aromatici (D.Lgs. 152/2006) corrisponde un valore diverso da zero per tutte le stazioni ma questo solo per la modalità prevista dalla Norma per la sua determinazione: il parametro Sommatoria viene ottenuto infatti

considerando anche gli IPA sotto soglia strumentale e attribuendovi un valore pari a metà della soglia strumentale stessa.

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), per il 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 2019 (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. Ciò non è stato possibile per le misure di IPA dal

momento che le concentrazioni sono state quantificate in un unico campione per stazione.

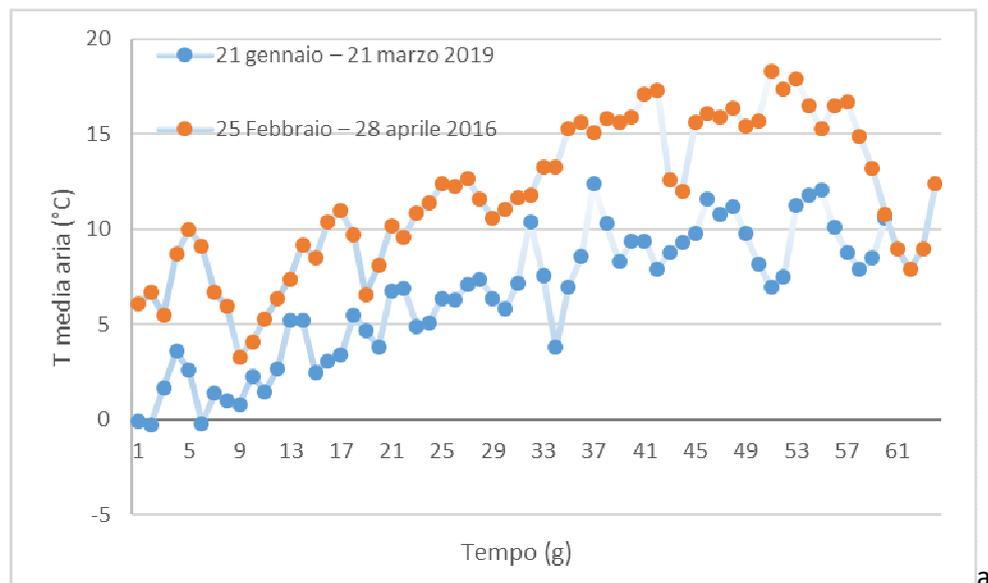
- Per ogni analita (es. Al) si è calcolato l'*EU ratio* medio per l'area di studio considerando il suo bioaccumulo medio su tutte le stazioni.

3. RISULTATI

3.1 Condizioni climatiche nel periodo del monitoraggio

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

I due periodi 2016 e 2019, pur non avendo interessato esattamente gli stessi mesi dell'anno, risultano confrontabili da un punto di vista climatico.



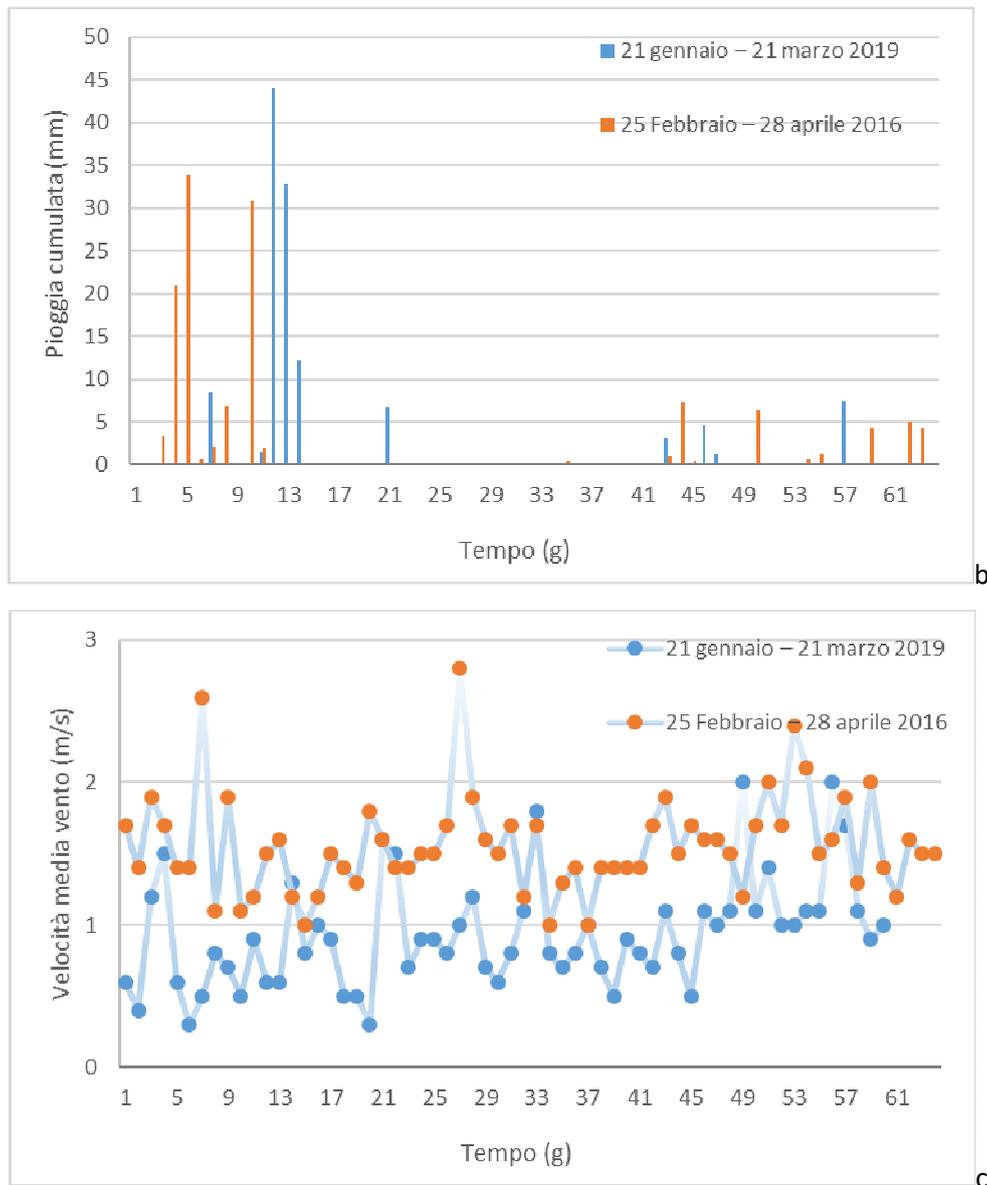


Fig. 3. I tre grafici frutto dell'analisi e del confronto dei dati meteorologici dei periodi di esposizione dei talli lichenici espuntati durante le campagne di biomonitoraggio 2016 e 2019. Sopra, Fig. 3a, il grafico riporta in ascisse il Tempo espresso in giorni e in ordinate la temperatura media dell'aria (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 espunti di *Pseudevernia furfuracea*

I valori di EU indicano che i talli espuntati e esposti durante la campagna 2019 nelle tredici stazioni roveretane hanno accumulato elementi in traccia, in particolare Cobalto, Rame, Ferro, Sodio (legato probabilmente a trattamento con sali delle strade in periodo invernale), Nichel e Piombo. Cromo, Vanadio e Zinco sono stati accumulati solo in alcune

stazioni, e Alluminio, Arsenico e Cadmio in un'unica stazione, la n. 2, a inizio di Viale Trento. Calcio, Potassio, Magnesio, Manganese, e Mercurio non stati accumulati in nessuna stazione. I valori riscontrati ricadono sempre nella classe di Bioaccumulo basso (L) fatta eccezione per il sodio per cui si è invece nella classe di Bioaccumulo severo (S). Per il dettaglio si rimanda alla Tabella 6.

St.	Al	As	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Hg	Mg	Mn	Ni	Pb	V	Zn
2	A	A	A	L	L	L	M	L	A	A	A	A	L	L	L	L
7	A	A	A	A	L	A	L	L	A	A	A	A	L	L	A	A
8	A	A	A	A	A	A	M	A	A	A	A	A	L	L	A	A
9	A	A	A	A	L	L	S	L	A	A	A	L	L	L	A	M
11	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	L	A	A
12	A	A	A	A	L	L	L	L	A	A	A	A	L	A	A	A
13	A	A	A	A	L	A	M	L	A	A	A	A	L	L	L	L
14	A	A	A	A	L	L	L	L	A	A	A	A	L	L	A	A
15	A	A	A	A	L	A	M	L	A	A	A	A	L	L	A	A
17	A	A	A	A	L	A	L	L	A	A	A	A	L	L	A	A
18	A	A	A	A	A	L	M	L	A	A	A	A	L	L	A	L
19	A	A	A	A	L	A	L	L	A	A	A	A	L	L	A	L
20	A	A	A	A	L	L	H	L	A	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.

Guardando alla situazione generale di tutte le stazioni (Figura 4), si osserva bioaccumulo di: Cobalto, Rame (per cui si è registrata un'ampia variabilità tra le stazioni), Ferro, Nichel e Piombo. C'è stata assenza di bioaccumulo per Alluminio, Arsenico, Calcio, Cadmio, Potassio, Magnesio, Manganese, Mercurio, Vanadio. Infine per Cromo e Zinco, elementi accumulati in basse concentrazioni in alcune stazioni, si ha una situazione molto variabile.

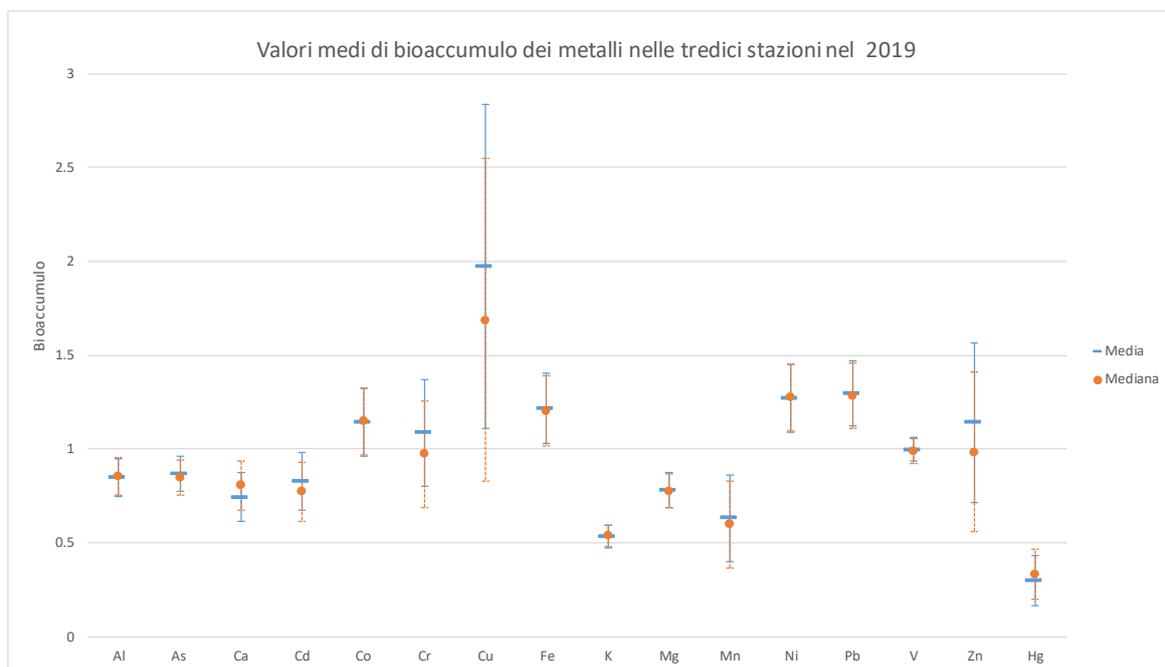


Fig. 4. Nel grafico si rappresenta il bioaccumulo medio su tutte e tredici le stazioni per ogni metallo indagato, vale a dire l'EU medio di ciascun analita per il territorio in esame. In ascisse sono quindi riportati gli analiti mentre in ordinate il valore di bioaccumulo. La variabilità del bioaccumulo tra le stazioni è espressa per tramite di barre di errore corrispondenti a una deviazione standard.

Nel complesso, i risultati di questo biomonitoraggio basato sull'approccio mediante espianti lichenici indicano che nell'area comunale i principali inquinanti che vengono assorbiti dai talli lichenici sono: Cobalto (non misurato nella campagna 2016), Rame, Ferro, Nichel e Piombo e in parte Cromo e Zinco. La variabilità di bioaccumulo riscontrata per il Rame suggerisce che questo elemento potrebbe essere tra i più critici nell'area comunale probabilmente in relazione ad attività industriali e agricole.

Anche questa campagna di indagine sembra indicare un bioaccumulo più accentuato, seppur mediamente ricadente sempre nella classe di Basso bioaccumulo (L), per le stazioni n. 2 e n. 7 in area urbana e quelle n. 9, 18, 19 e 20 situate nella zona industriale, potenzialmente quindi tra le più critiche. A queste si aggiungono la st. 13 a Marco di Rovereto (che presenta un bioaccumulo medio per il Rame) e la st. 14 a Lizzana Alta che presenta un basso bioaccumulo su vari metalli, risentendo probabilmente – a seguito della conformazione morfologica della zona e del regime dei venti – delle sottostanti zona industriale e statale del Brennero.

Per quanto riguarda gli IPA, solo alcuni dei 18 analiti ricercati sono risultati al di sopra della soglia di rilevabilità strumentale, vale a dire: Naftalene, Pirene e Fluorantene. Per

questi due ultimi la misura dei bianchi è risultata sotto soglia e quindi si è calcolato EU considerando una concentrazione nei campioni di riferimento pari alla soglia strumentale. Anche per la Sommatoria dei Policiclici aromatici (Dlgs. 152 del 2006) si è calcolato EU pur tenendo conto dell'incertezza legata al tipo di calcolo previsto per definire la Sommatoria stessa (si veda a pagg. 9 e 10).

I dati a disposizione, il cui limite è quello di non fornire una quantificazione della variabilità, suggeriscono che mediamente nell'area di studio ci sia basso (ad esempio per Pirene e Naftalene) o assente bioaccumulo, visto che in molti casi si è al di sotto della soglia di rilevabilità strumentale. Fa eccezione il Fluorantene per cui si ha bioaccumulo in tutte le stazioni, che è basso (L) ad eccezione che in 8, 9, 12, 13 e 20 dove risulta moderato (M).

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.

3.3 Comparazione con la campagna 2016

Nel 2019 sono stati indagati 16 analiti (tutti quelli considerati in Cecconi et al., 2019, vale a dire Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, Pb, V, Zn, più Sodio, Na, e Mercurio, Hg) contro i dieci del 2016 (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, ni, Pb, Zn, V). Considerando gli analiti comuni mediati su tutte le stazioni (visto che nel 2016 fu analizzato un solo campione per stazione contro i tre del 2019), i risultati sono confrontabili in termini di ordine di grandezza e variabilità del dato. Ad esempio, in entrambe le campagne il Rame presenta un valore di bioaccumulo maggiore rispetto agli altri analiti e con ampia variabilità tra stazioni.

Nulla si può dire riguardo agli IPA dato che nel 2016 non furono oggetto di analisi.

4. CONCLUSIONI

Con questa terza campagna di biomonitoraggio nel Comune di Rovereto si è provveduto a:

- rafforzare gli strumenti interpretativi concentrandosi sull'indagine tramite espianti lichenici da esporre durante la stagione invernale (che è quella potenzialmente più critica);
- arricchire il set degli elementi in traccia e aggiungere anche gli IPA.

La maggior parte degli IPA ha dato valori sotto la soglia di rilevabilità strumentale sia nei campioni esposti che in quelli di controlli, a significare che se l'accumulo ci fosse anche stato non è risultato a livelli rilevabili set up analitico. Le uniche considerazioni riguardano il Naftalene e la Sommatoria dei policiclici aromatici (secondo Dlgs 152/2006), in entrambi i casi si registrano tuttavia situazioni di bioaccumulo basso o assente.

Per i metalli è sempre stato possibile calcolare l'*EU ratio*. Si può quindi osservare che nel 2019 le stazioni potenzialmente critiche sono simili a quelle del 2016: 2, 7, 9, 18, 19, 20. Nel loro complesso i dati sui metalli suggeriscono che sostanzialmente non ci sono evidenti situazioni di bioaccumulo, né evidenti cambiamenti rispetto al 2016.

Alla luce di quanto qui riportato, la campagna di biomonitoraggio 2019, 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. L'entità di tali potenziali criticità, principalmente localizzate nell'area industriale, ma in parte riguardanti anche il tessuto urbano, sono e saranno oggetto di controlli chimico-fisici con misurazione delle polveri sottili e analisi di laboratorio grazie alla strumentazione ospitata dal laboratorio mobile del Comune di Rovereto.

Inoltre, un supplemento di indagine (es. maggior numero di campioni) con l'approccio del biomonitoraggio sarebbe utile soprattutto laddove la variabilità del dato finora ottenuto rimane elevata.

È auspicabile, visti gli esiti delle analisi di laboratorio, che in futuro anche gli IPA possano essere quantificati in un numero maggiore di campioni per stazione e a un livello analitico più fine.

Confidando nel proseguimento del progetto, si consiglia di ripetere l'indagine di biomonitoraggio mediante espianti lichenici con cadenza biennale. La prossima campagna andrebbe quindi programmata per i primi mesi del 2021.

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.