

**BIOMONITORAGGIO MEDIANTE LICHENI EPIFITI
COME BIOACCUMULATORI NEL COMUNE DI
ROVERETO (TRENTO)**



Fondazione Museo Civico di Rovereto

Supervisione scientifica:
Dr. Juri Nascimbene

Con la collaborazione di:
Dr.ssa Federica Bertola
Dr.ssa Fabiana Zandonai
Dr. Franco Finotti
Prof. Emanuele Argese (Università Ca' Foscari, Venezia)

Ottobre, 2016

INDICE

1. PREMESSA	3
2. MATERIALI E METODI	4
2.1 - Le stazioni di campionamento.....	4
2.2 - Campionamento dei talli lichenici autoctoni.....	5
2.3 - Campionamento ed esposizione dei talli lichenici espantati	6
2.4 - Preparazione dei campioni per le analisi	7
2.5 - Analisi dei metalli in traccia.....	8
2.6 – <i>Xanthoria parietina</i> : scala di interpretazione dei risultati e analisi dei dati	8
2.7 – <i>Pseudevernia furfuracea</i> : scala di interpretazione dei risultati e analisi dei dati ..	12
2.8 – Condizioni climatiche nel periodo del progetto (2013-2016).....	12
3. RISULTATI.....	14
3.1 – Bioaccumulo in talli autoctoni di <i>Xanthoria parietina</i>	14
3.2 – Bioaccumulo in espanti di <i>Pseudevernia furfuracea</i>	29
4. CONCLUSIONI	31
BIBLIOGRAFIA	32

1. PREMESSA

I licheni epifiti vengono spesso utilizzati come bioaccumulatori nelle indagini sulla qualità dell'aria (Loppi, 1999). 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 ricampionamento ripetuto nel tempo.

La presente relazione è incentrata sui risultati della seconda campagna di biomonitoraggio condotta nel 2016 nel Comune di Rovereto. Nel suo complesso, il progetto avviato nel Comune di Rovereto nel 2013 è basato:

- sull'analisi di elementi in traccia quantificati su materiale lichenico autoctono raccolto in 13 stazioni (di cui 10 campionate sia nel 2014, sia nel 2016 e 3 aggiunte nel 2016) distribuite sul 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);
- sull'analisi di elementi in traccia quantificati su materiale lichenico espantato ed esposto nelle stesse 13 stazioni utilizzate per lo studio di bioaccumulo con *Xanthoria parietina*. In particolare, 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). Si tratta di una tecnica sempre più utilizzata per la sua relativa praticità rispetto all'utilizzo di licheni autoctoni (per esempio Frati et al., 2005; Gallo et al., 2014; Kodnik et al., 2015; Malaspina et al., 2014).

Lo studio si è arricchito anche dell'attività di una tirocinante e tesista dell'Università di Padova (Dr.ssa Francesca Rizzi) che ha potuto sviluppare il suo lavoro di tesi focalizzandosi sul confronto tra le due campagne di biomonitoraggio con *Xanthoria parietina* (2014-2016).

2. MATERIALI E METODI

2.1 - Le stazioni di campionamento

Con la seconda campagna di biomonitoraggio si sono prese in esame le stesse 10 stazioni già analizzate nel 2014. A queste se ne sono aggiunte altre 3 poste nei dintorni della zona industriale e della discarica cittadina (Figura 1; Tabella 1).



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

ID	LAT.	LONG.	QUOTA (s.l.m.)	NOTE
2	45,8976°	11,0426°	234 m	Rovereto, Corso Bettini (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 della piscina
17	45,8847°	11,0415°	254 m	Rovereto, via Prima Armata, oratorio
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, quota e indicazioni stradali relative alle 13 stazioni utilizzate per il progetto di biomonitoraggio nel Comune di Rovereto nel 2014 e nel 2016. Le coordinate di ogni stazione sono espresse in gradi decimali.

2.2 - Campionamento dei talli lichenici autoctoni

Analogamente a quanto svolto nella precedente campagna, il campionamento dei talli del lichene *Xanthoria parietina* è stato condotto secondo gli standard indicati in Nimis & Bargagli (1999) e Nimis et al. (2002) che prevedono di prelevare i campioni su alberi con inclinazione non superiore a 10°, privi di segni evidenti di disturbo, di parti in cui vi sia periodico scolo di acqua piovana, di superfici decorticate e con relativa scarsità di briofite epifite. In ogni stazione, sono stati prelevati tre campioni indipendenti, su alberi diversi, e composti da più talli raccolti ad altezza superiore a 1 m per evitare la contaminazione da materiale terrigeno. I talli sono stati staccati dall'albero con una lama di acciaio

inossidabile e indossando guanti di lattice privi di talco e sono stati riposti in capsule petri sterili, numerate. In totale si sono prelevati 39 campioni (tre repliche biologiche per ciascuna stazione). Questa attività è stata svolta in un'unica giornata (03/03/2016) conforme agli standard meteorologici indicati in Nimis & Bargagli (1999), ovvero non piovosa e non a ridosso di giorni con rilevanti precipitazioni. Il campionamento è avvenuto nello stesso periodo dell'anno rispetto alla campagna precedente (07/03/2014).

2.3 - Campionamento ed esposizione dei talli lichenici espianati

I campioni del lichene *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf. v. *furfuracea* sono stati raccolti il 18 febbraio 2016 nei dintorni del lago di Calaita, Comune di Primiero-San Martino di Castrozza (un tempo Comune di Siror), Provincia di Trento, 1620 m s.l.m., LAT 46.200372° e LONG 11.794280°. Il materiale proviene da un'unica popolazione presente sui rami (ad una altezza tra 2 e 4 metri) di 4-5 esemplari di larice (*Larix decidua* Mill.) ravvicinati gli uni agli altri. Il materiale è stato raccolto recidendo segmenti di ramo lunghi 30-40 cm., è stato trasportato in laboratorio in sacchetti di carta e lasciato essiccare a temperatura ambiente in condizioni di penombra.



Fig. 2 - Fasi dell'esposizione dei rametti con i talli del lichene *Pseudevernia furfuracea*.

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.

In ogni stazione, sono stati esposti 1-2 rametti recanti almeno 2-3 talli ciascuno. I rametti sono stati fissati direttamente sui rami più esposti degli alberi presenti nelle stazioni, ad una altezza di circa 3-4 metri da terra (Figura 2). Il materiale è stato esposto il giorno 25 febbraio 2016 ed è stato ritirato il 28 aprile 2016 (due mesi di esposizione). I campioni sono stati trasportati al laboratorio all'interno di buste in plastica chiuse che poi sono state aperte per lasciar disidratare il materiale a temperatura ambiente per almeno 24 ore.

2.4 - Preparazione dei campioni per le analisi

Xanthoria parietina - Come nella precedente campagna, il materiale lichenico è stato minuziosamente ripulito allo stereomicroscopio per eliminare materiali estranei. Le operazioni di pulitura sono state effettuate indossando guanti in lattice privi di talco e avendo cura di evitare qualsiasi potenziale contaminazione da metalli. In accordo con le indicazioni metodologiche di Bargagli & Nimis (2002), è stata utilizzata soltanto la parte periferica (2-3 mm) di ciascun tallo in modo da ottenere campioni tra loro più omogenei possibile per quanto riguarda il tempo di esposizione. Il materiale così ottenuto è stato prima disseccato a temperatura ambiente (H_2O residua minore del 3%) e poi polverizzato utilizzando azoto liquido. Il peso dei campioni così ottenuti varia tra 150 e 250 mg. Il materiale polverizzato è stato inserito in capsule *eppendorf* e trasferito al laboratorio per le analisi.

Pseudevernia furfuracea – circa 600 mg di materiale è stato ottenuto utilizzando le parti terminali dei lobi del tallo lichenico per una lunghezza di circa 2,5 cm. Il materiale così ottenuto è stato polverizzato utilizzando azoto liquido e inserito in tubi di Teflon sterili. Per ciascuna stazione è stato realizzato un unico campione derivante dal mescolamento di almeno 3 talli. Come riferimento, si sono realizzati tre campioni distinti del materiale pre-esposizione. Pertanto, i campioni prodotti e analizzati in totale per questa parte del lavoro sono 16.

2.5 - Analisi dei metalli in traccia

Sia per il materiale autoctono (*Xanthoria parietina*), sia per gli espianiti di *Pseudevernia furfuracea*, le analisi si sono concentrate su 12 elementi in traccia: Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, V e sono state realizzate presso il laboratorio del Prof. Argese Emanuele del Dipartimento di Scienze Molecolari e Nanosistemi dell'Università Ca' Foscari di Venezia.

I reagenti e gli standard sono stati preparati usando acqua Milli-Q con una resistività di 18.2 M Ω cm. I reagenti utilizzati per la digestione dei campioni sono tutti di grado *suprapure*. I contenitori (pyrex) per la disgregazione e quelli in polietilene per la conservazione sono stati trattati prima dell'uso con HNO₃ 0.1M per 48 h e poi risciacquati con acqua Milli-Q.

Una quantità di 0,10 g di ogni campione è stata digerita completamente con 2 ml di H₂O Milli-Q, 3 ml di HNO₃ concentrato e 2 ml di H₂O₂ al 30% in contenitori Pyrex chiusi e portati alla temperatura di 175°C per 15 minuti in microonde (mod. CEM Explorer SPD plus 24/48).

Al termine della mineralizzazione, ogni campione è stato portato a volume finale in matraccio da 25 ml con acqua Milli-Q.

Per valutare la precisione e l'accuratezza del metodo di analisi è stato utilizzato anche un materiale di riferimento certificato di lichene (*Pseudevernia furfuracea*) e i risultati sono stati più che soddisfacenti sia per quanto riguarda la precisione che per quanto riguarda l'accuratezza (la deviazione standard rispetto ai valori di riferimento è stata sempre al di sotto del 10%).

La determinazione dei metalli e metalloidi è stata eseguita con ICP-MS 6100 Perkin-Elmer.

2.6 – *Xanthoria parietina*: scala di interpretazione dei risultati e analisi dei dati

Per ogni stazione si sono calcolati il valore medio della concentrazione di ciascun elemento e la relativa deviazione standard utilizzando i tre campioni analizzati (n = 3 per ciascuna stazione e per ciascun elemento). L'interpretazione dei risultati in termini di naturalità/alterazione è basata sulla comparazione dei valori medi con la scala di riferimento per l'interpretazione dei dati di bioaccumulo proposta da Nimis e Bargagli (1999) e modificata da Tretiach & Baruffo (2001) per adattarla all'uso specifico della specie *Xanthoria parietina* (Tabella 2). Tale scala si basa sull'analisi della distribuzione

dei valori percentili dei metalli per cui erano disponibili almeno 100 misurazioni in almeno tre aree d'Italia (Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn). Per gli altri elementi (As, Pb, V) si è utilizzata la scala di Nimis e Bargagli (1999). La classe 1 rappresenta la situazione di massima naturalità, in cui i valori delle concentrazioni si avvicinano a quelli di *background* calcolato come media dei valori minimi misurati in Italia. La classe 7 rappresenta una situazione di forte alterazione, con valori che si avvicinano a quelli massimi riscontrati in Italia.

Per valutare in modo sintetico i risultati, per ogni stazione sono stati calcolati l'Indice sintetico di naturalità (IN), l'Indice sintetico di alterazione (IA) e l'Indice sintetico di tossicità potenziale (TP), come proposto da Nimis et al. (1999; Tabella 3). Questi indici variano tra 0 e 10. I primi due sintetizzano in modo indipendente le condizioni di naturalità e alterazione di una determinata stazione tenendo conto del contributo di ciascun elemento e della classe di naturalità/alterazione in cui è collocato. La valutazione della tossicità potenziale è basata sull'attribuzione ad ogni elemento di un indice di tossicità che varia tra 0 e 2 (Al, Fe, Mn = 0; Cu, Ni, Zn = 1; As, Cd, Cr, Ni, Pb, V = 2) e rappresenta soltanto uno strumento pratico per stimare il rischio-salute potenziale di ciascuna stazione (Nimis et al., 1999). Tuttavia è bene ricordare che la tossicità per l'uomo non dipende dalle concentrazioni rilevate nei licheni, ma dalle quantità effettivamente assorbite e dalla forma chimica dei metalli (Nimis et al., 1999).

L'indice sintetico di naturalità viene determinato utilizzando la seguente formula:

$$I.N._{(i)} = 10 * \left(\frac{\sum_{j=1}^2 (3 - x_{(j)}) * y_{(i)}}{2n} \right)$$

Dove: i = stazione, n = numero totale di elementi, j = classe di naturalità/alterazione, x_j = valore della classe j , y = numero degli elementi della stazione i -esima con valore appartenente alla classe j .

Esempio nella stazione 2, nell'anno 2016, vi sono: 3 elementi con valore 2 e 2 elementi con valore $(j=1) = 1$.

$$I.N._{(2)} = 10 * \left(\frac{(3-1)*2 + (3-2)*3}{2*11} \right) = 3,18$$

L'indice sintetico di alterazione invece è basato sulla seguente formula:

$$I.A._{(i)} = 10 * \left(\frac{\sum_{j=6}^7 (x_{(j)} - 5) * y_{(i)}}{2n} \right)$$

Esempio nella stazione 7, nell'anno 2016, vi sono: 2 elementi con valore 7 e 0 elementi con valore (j=6) = 6.

$$I.N._{(7)} = 10 * \left(\frac{(7-5)*2 + (6-5)*0}{2*11} \right) = 1,818$$

Infine l'indice sintetico di tossicità potenziale si calcola secondo la formula:

$$T.P._{(i)} = 10 * \left(\frac{\sum_{j=1}^n x_{ij} * \alpha_j}{7 * \sum_{j=1}^n \alpha_j} \right)$$

Dove: n = numero dei metalli, x_{ij} = classe di naturalità/alterazione per il metallo j -esimo nella stazione i -esima, α_j = valore dell'indice di tossicità potenziale per il metallo j (Al, Fe, Mn = 0; Cu, Ni, Zn = 1; As, Cd, Cr, Pb, V = 2) (Nimis et al., 1999).

Esempio nell'anno 2014 la stazione 2 ha riportato il seguente indice:

$$T.P._{(2)} = 10 * \left(\frac{4*0 + 2*2 + 2*2 + 7*2 + 4*1 + 5*0 + 5*0 + 7*1 + 1*2 + 3*1 + 3*2}{7*13} \right) = 4,84$$

I risultati di questa parte dell'indagine sono proposti anche in forma comparativa rispetto alla precedente campagna del 2014.

Percentili	Classe	Naturalità/Alterazione	Colori	Al	As*	Cd	Cr	Mn	Ni	Cu	Fe	Pb*	Zn	V*
20°	1	Naturalità molto alta	Blu	<312	<0.2	<0.17	<1.52	<16.5	<0.99	<5.73	<288.8	<4	<24.9	<0.63
50°	2	Naturalità alta	Verde scuro	541	0.6	0.29	2.47	22	1.86	7.90	448	10	31.35	1.7
75°	3	Naturalità media	Verde chiaro	920	1.2	0.43	3.58	28	2.93	11	668	25	39	3.1
90°	4	Naturalità / Alterazione basse	Giallo	1475	1.9	0.74	5.57	40.91	4.22	15.9	1032.6	55	47.15	5.1
95°	5	Alterazione media	Arancione	2068	2.4	0.98	7.17	47.22	5.21	20.82	1362	80	54	6.7
98°	6	Alterazione alta	Rosso	3089	3.0	1.4	9.61	62.62	7.10	35.27	1669.8	108	83.26	9.3
	7	Alterazione molto alta	Cremsi	>3089	>3.0	>1.4	>9.61	>62.62	>7.10	>35.27	>1669.8	>108	>83.26	>9.3
Max ITA				8390		2.55	60.5	136.2	34.4	148.32	4276	494	164	15

Tab. 3 - Scala per l'interpretazione dei valori di bioaccumulo di diversi elementi (concentrazioni espresse in µg/g) nei licheni in termini di Naturalità/Alterazione, secondo Nimis e Bargagli (1999) (elementi contrassegnati da “*”) e modificata da Tretiach & Baruffo (2001). Max ITA = valore massimo misurato in Italia.

2.7 – *Pseudevernia furfuracea*: scala di interpretazione dei risultati e analisi dei dati

Il rapporto tra la concentrazione di ciascun elemento nei campioni esposti e nei campioni di controllo (valore medio dei tre campioni di controllo), denominato rapporto EC (Fрати et al., 2005), è stato utilizzato per valutare i tassi di accumulo nei talli lichenici nelle diverse stazioni. Nel caso dell'arsenico e del cadmio questo approccio non è stato applicabile. Nel primo caso i valori sono tutti al di sotto del limite di rilevabilità dello strumento, mentre nel secondo sono sotto il limite soltanto i valori relativi ai tre campioni di riferimento.

L'interpretazione dei tassi di accumulo è basata sulla scala in cinque classi dei valori del rapporto EC proposta da Frати et al., 2005 (Tabella 4).

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 Frати et al., 2005.

2.8 – *Condizioni climatiche nel periodo del progetto (2013-2016)*

Le condizioni climatiche 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). Per tale motivo, al fine di supportare l'interpretazione comparativa tra le due campagne di biomonitoraggio eseguite nel 2014 e nel 2016 con la tecnica del bioaccumulo su materiale autoctono (*Xanthoria parietina*), si sono presi in esame i dati di temperatura e precipitazione (Tabella 5) relativi ai 12 mesi precedenti ciascuno dei due campionamenti: marzo 2013-febbraio 2014 e marzo 2015-febbraio 2016. Tali dati sono relativi alla Stazione Meteorologica di San Rocco, Rovereto (TN), a cura di Meteotrentino. Dal momento che per il mese di marzo 2015 non erano disponibili dati climatici di questa stazione si sono utilizzati quelli provenienti dalla stazione meteo privata di S. Giorgio.

Come si evince dalla Tabella 6, i due periodi presentano valori simili (differenze non significative; $P > 0,05$) per quanto riguarda la temperatura, mentre differiscono

significativamente ($P < 0,05$) per quanto riguarda le precipitazioni piovose che risultano essere molto maggiori nel periodo marzo 2013-febbraio 2014 rispetto al periodo marzo 2015-febbraio 2016.

Mese	Anno	Pioggia (somma mm)	Temp. Min °C (min assoluta mese)	Temp. Max °C (max assoluta mese)	Temp. Med °C (media integrale mese)
marzo	2013	128,4	-2	17,5	6,9
aprile	2013	127,6	1,8	27,9	13,4
maggio	2013	193,4	5,6	27,6	15,4
giugno	2013	82,6	10,1	35,8	21,1
luglio	2013	23,6	14,8	38,5	24,8
agosto	2013	57,4	14,5	38	23,8
settembre	2013	63,4	9,5	31	19,2
ottobre	2013	118,4	5,7	22,4	14,1
novembre	2013	108	-2,7	19	8,4
dicembre	2013	79	-1,9	13,2	3,5
gennaio	2014	227,2	-1,7	12,6	3,9
febbraio	2014	183,6	0,8	13,8	6
marzo	2015	24,8	-0,1	23,3	9,8
aprile	2015	25,4	3,5	28,5	14,7
maggio	2015	52,4	10	29,9	19,1
giugno	2015	68,2	13,2	35,9	22,8
luglio	2015	72,6	17,4	38,6	27
agosto	2015	43	15	37,3	24
settembre	2015	85,6	9,4	33,6	18,4
ottobre	2015	115,4	3,6	23,8	12,9
novembre	2015	2,2	-1,5	20,3	8
dicembre	2015	0	-3	12,2	3
gennaio	2016	42	-6	12,7	2,5
febbraio	2016	146,2	-0,7	14,1	6,2

Tab. 5 - Valori dei principali parametri climatici nei 12 mesi antecedenti a ciascuna campagna di biomonitoraggio mediante l'utilizzo del lichene *Xanthoria parietina* come bioaccumulatore. Dati relativi alla Stazione Meteorologica di San Rocco, Rovereto (TN), a cura di Meteotrentino. Per marzo 2015 i dati sono stati desunti dalla stazione meteo privata di S. Giorgio.

	mar 2013-feb 2014	mar 2015-feb 2016	T-test
Pioggia (mm totali nel periodo)	1392,6±60,6	677,8±43,9	0,013
Temp. Min °C (media periodo)	4,5±6,4	5±7,7	>0,05
Temp. Max °C (media periodo)	24,7±9,7	25,8±9,6	>0,05
Temp. Med °C (media periodo)	13,3±7,6	14,03±8,3	>0,05

Tab. 6 - Sintesi delle condizioni meteo medie nei 12 mesi antecedenti a ciascuna campagna di biomonitoraggio mediante l'utilizzo del lichene *Xanthoria parietina* come bioaccumulatore. Sono riportati i valori medi del periodo ± il valore della deviazione standard.

3. RISULTATI

3.1 – Bioaccumulo in talli autoctoni di *Xanthoria parietina*

Le analisi condotte per il mercurio hanno dato risultati sempre al di sotto del limite di identificazione strumentale e pertanto questo metallo non viene ulteriormente commentato.

Situazione del 2016 – In tutte le stazioni, Arsenico, Cadmio, Piombo e Vanadio hanno valori di *background* o molto prossimi ad esso (Tabella 7b). Al contrario, vi sono alcune stazioni che denotano situazioni potenzialmente critiche (alterazione medio-elevata) in relazione ad alcuni altri metalli. Questo è il caso ad esempio del Cromo nelle stazioni 7 e 15, del Rame nelle stazioni 9, 12, 13, 19 e 20, del Ferro nelle stazioni 9, 15, 19 e 20, del Manganese nella stazione 2, del Nichel nella stazione 7 e dello Zinco nelle stazioni 9, 19 e 20 (zona industriale). Quest'ultimo elemento tuttavia, nel resto delle stazioni ha sempre valori prossimi al *background*.

Nel complesso, le stazioni che risultano potenzialmente più critiche sono la 7, la 9, la 19 e la 20, come indicato anche dai valori relativamente più elevati dell'indice sintetico di alterazione e di tossicità potenziale. Mentre la prima ricade in ambiente cittadino (Rovereto, parco San Giorgio, via Europa), le altre tre sono situate nella zona industriale che si configura pertanto come l'area comunale con maggior criticità potenziale in relazione all'inquinamento atmosferico.

Nella maggior parte dei casi, i tre valori delle concentrazioni registrati in ciascuna stazione sono tra loro abbastanza concordanti come indicano i valori moderati della deviazione standard (Figura 3). Tuttavia, in alcuni casi i campioni denotano una notevole variabilità intra-sito (elevata deviazione standard), come ad esempio per l'Alluminio in molte stazioni, l'Arsenico nella stazione 7 (dove tuttavia i valori rimangono a livelli bassi), il Cromo nella stazione 7, il Rame nella stazione 12, Ferro, Piombo e Vanadio nelle stazioni 19 e 20 e lo Zinco nella stazione 19. Nel caso della stazione 7, questo aspetto non deve essere trascurato in sede interpretativa dal momento che sono proprio i valori del Cromo a determinare la potenziale criticità della stazione. Questa situazione, data anche la sua collocazione nel tessuto urbano, richiederebbe un supplemento di campionamento per poter meglio valutare l'effettiva attendibilità statistica del dato biologico e/o una campagna di misurazioni chimico-fisiche mediante centraline mobili.

Comparazione con la situazione del 2014 – Le principali differenze tra le due campagne di biomonitoraggio riguardano il miglioramento della situazione nella stazione 2 di Corso Bettini (Tabella 7; Figura 3) e il peggioramento delle stazioni 7 e 9. Nel caso della stazione 7 valgono le considerazioni fatte sopra circa la variabilità del dato di bioaccumulo. Nel caso della stazione 9, va notato che il peggioramento è abbastanza contenuto, soprattutto in termini di tossicità potenziale. Tuttavia, i dati relativi alle altre due stazioni aggiuntive, collocate nel 2016 in zona industriale, indicano in modo concorde una situazione di potenziale criticità in quest'area. Nel caso della stazione 2, i risultati contrastanti delle due campagne suggeriscono l'utilità di un supplemento di campionamento e/o di una campagna di misurazioni chimico-fisiche mediante centraline mobili, in virtù anche della collocazione stessa della stazione nel tessuto urbano.

Le stazioni 8 (Sacco), 14 (Lizzana Alta), e 17 (Via Prima Armata) si confermano tra quelle a più elevata naturalità in entrambe le campagne di biomonitoraggio.

Nel complesso, nella campagna del 2016 si sono registrati spesso valori di bioaccumulo più elevati rispetto al 2014 (si veda ad esempio la Figura 3 per molti degli elementi analizzati). Tuttavia, va sottolineato come le condizioni climatiche dei 12 mesi antecedenti ciascuna delle due campagne di biomonitoraggio non siano tra loro omogenee. In particolare, la piovosità è stata molto più accentuata nel periodo antecedente la campagna del 2014 rispetto a quella del 2016 (Tabella 6). Questa differenza potrebbe aver influito sui tassi di accumulo da parte dei talli lichenici con un effetto di maggior dilavamento in relazione al biomonitoraggio del 2014 (Malaspina et al., 2014).

a – Dati relativi alla campagna di biomonitoraggio del 2014.

St.	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	V	IN	IA	TP
2	1344,89	0,39	0,18	17,47	13,63	1126,41	41,64	7,88	1,89	31,53	2,36	1,81	1,81	4,83
7	692,59	0,21	0,06	8,09	8,01	535,78	19,08	3,64	0,70	25,12	1,08	3,63	0,45	3,62
8	238,48	0,06	0,06	3,10	6,49	197,92	14,47	1,84	0,40	16,61	0,38	8,18	0,00	2,08
9	701,26	0,18	0,11	6,90	15,41	752,91	20,46	3,21	1,68	53,38	1,39	3,63	0,00	3,62
11	424,11	0,09	0,07	4,75	6,20	379,24	21,16	2,16	1,10	29,59	0,98	5,45	0,00	2,52
12	341,39	0,06	0,06	3,52	9,13	355,64	12,62	1,86	0,81	20,42	0,56	6,81	0,00	2,19
13	500,11	0,13	0,09	6,89	11,88	508,84	19,94	2,96	1,56	33,84	0,87	4,09	0,00	3,40
14	236,72	0,04	0,09	10,53	4,85	256,98	9,35	4,87	0,45	21,11	0,39	8,18	0,90	3,18
15	609,51	0,17	0,09	6,75	8,56	665,29	17,58	2,88	2,39	34,85	1,29	3,63	0,00	3,18
17	451,85	0,05	0,04	3,42	6,15	294,90	10,96	1,48	0,59	19,88	0,45	7,27	0,00	2,08

b - Dati relativi alla campagna di biomonitoraggio del 2016.

St.	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	V	IN	IA	TP
2	1054	0,23	0,071	2,97	14,65	856	42,21	1,26	1,91	30,66	1,72	3,18	0,00	3,08
7	699	0,28	0,057	22,79	12,72	631	20,62	9,63	0,90	38,46	1,19	3,18	1,82	4,40
8	323	0,09	0,047	1,48	9,70	254	16,07	0,40	0,23	26,48	0,57	8,18	0,00	1,76
9	1058	0,31	0,076	5,25	24,59	1355	28,21	1,92	3,82	74,11	2,11	2,27	0,91	4,07
11	1105	0,23	0,056	4,13	12,20	876	29,03	1,54	2,46	32,88	1,78	2,73	0,00	3,41
12	1113	0,24	0,064	5,07	27,15	966	22,47	2,55	2,81	31,03	1,84	2,73	0,45	3,63
13	781	0,24	0,089	2,33	17,83	728	21,52	0,92	2,66	40,13	1,35	4,55	0,00	2,86
14	695	0,17	0,064	1,69	9,00	534	15,53	0,76	1,62	26,59	1,15	5,91	0,00	2,20
15	1565	0,37	0,048	6,03	13,06	1345	24,51	1,80	2,39	35,08	2,75	2,73	0,00	3,63
17	529	0,12	0,044	2,46	10,94	604	14,35	0,71	1,52	27,94	1,03	6,36	0,00	2,20
18	366	0,15	0,038	1,48	11,89	434	19,21	0,47	0,41	43,71	0,71	6,36	0,00	2,31
19	980	0,26	0,084	4,50	19,32	1164	24,09	1,83	3,85	147,54	1,90	2,73	0,91	3,96
20	1119	0,30	0,071	4,87	22,57	1339	27,12	2,26	4,24	54,39	2,14	1,82	0,91	4,29

Tab. 7– Tabelle riassuntive (Tab. 7a per il 2014 e Tab. 7b per il 2016) in cui vengono riportati i valori medi di concentrazione (espressi in $\mu\text{g/g}$) calcolati sui 3 alberi di ciascuna stazione di campionamento, per ogni elemento. Ad ogni valore è stato attribuito il colore corrispondente alle classi di naturalità/alterazione della scala di riferimento riportata in Tabella 3.

Le ultime tre colonne della tabella si riferiscono rispettivamente ai valori dell'Indice sintetico di naturalità (IN), all'Indice sintetico di alterazione (IA) e all'indice sintetico di potenziale di tossicità (TP) tutti espressi su una scala da 0 a 10 (Nimis et al., 1999).

Figura 3 (a-m) – Valori delle concentrazioni di ogni elemento nei talli di *Xanthoria parietina* nelle 13 stazioni di campionamento. Sulle ordinate sono state riportate le 13 stazioni di campionamento e sulle ascisse la massa/peso secco (espresso in $\mu\text{g/g}$) di ciascun elemento analizzato. Sono riportate le concentrazioni misurate nei due anni 2014 e 2016 con le relative deviazioni standard.

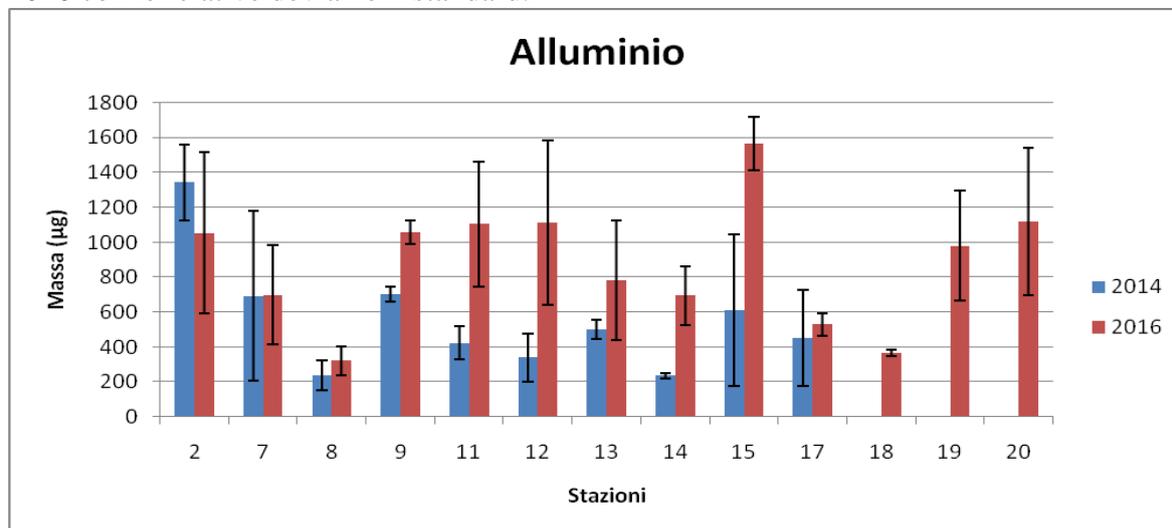


Fig. 3a – Alluminio.

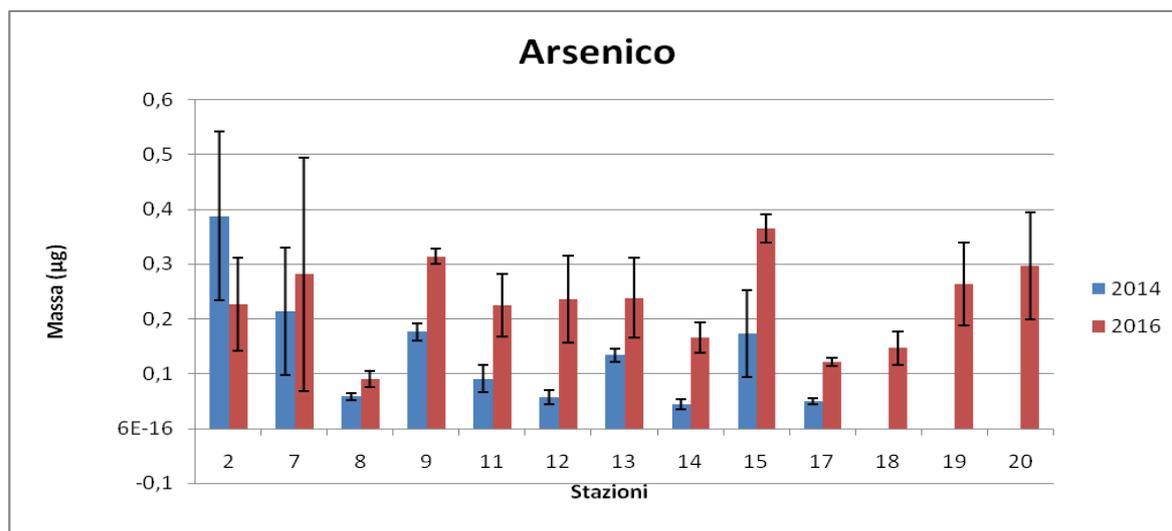


Fig. 3b – Arsenico.

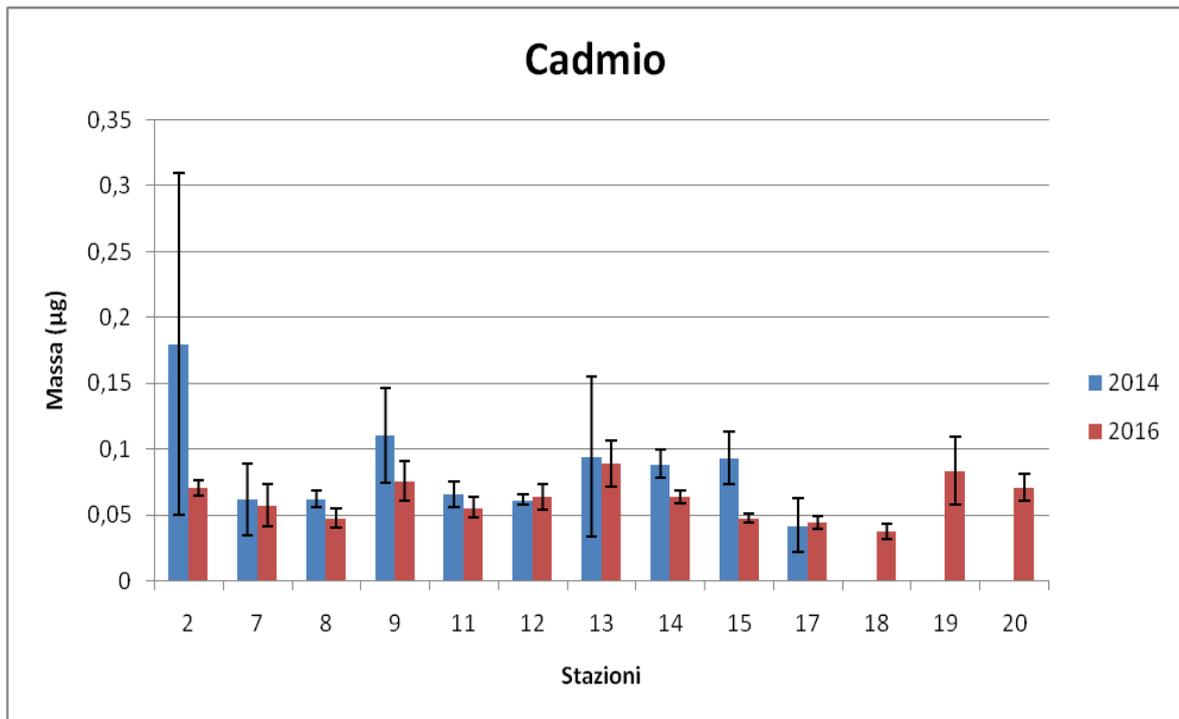


Fig. 3c – Cadmio.

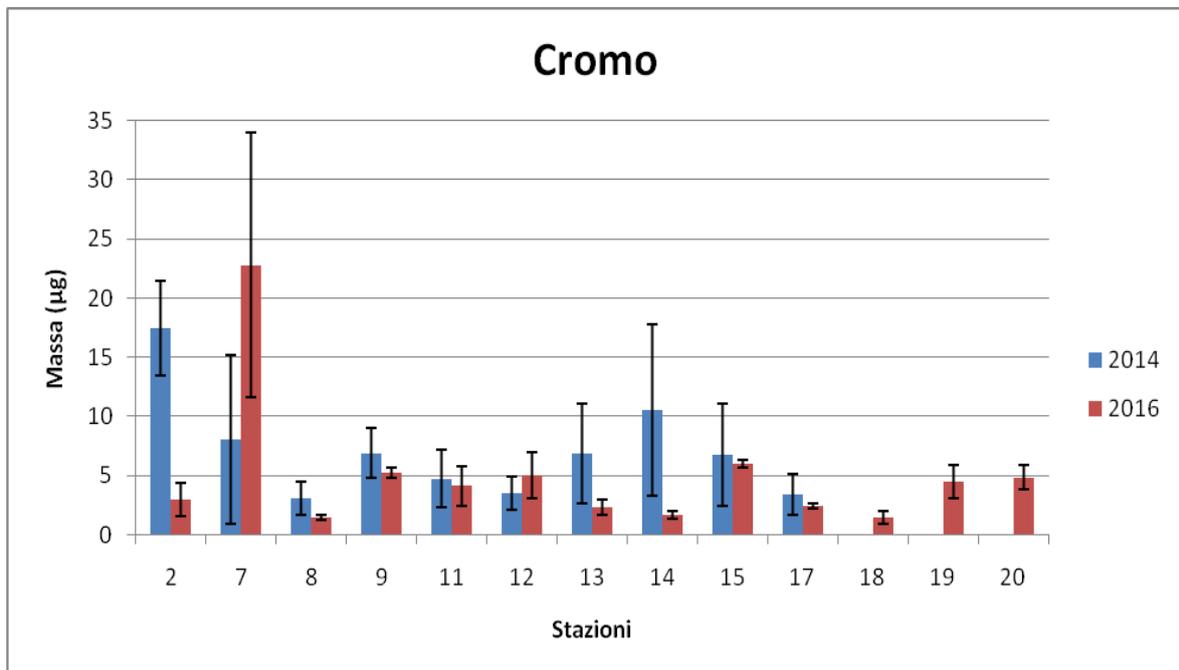


Fig. 3d – Cromo.

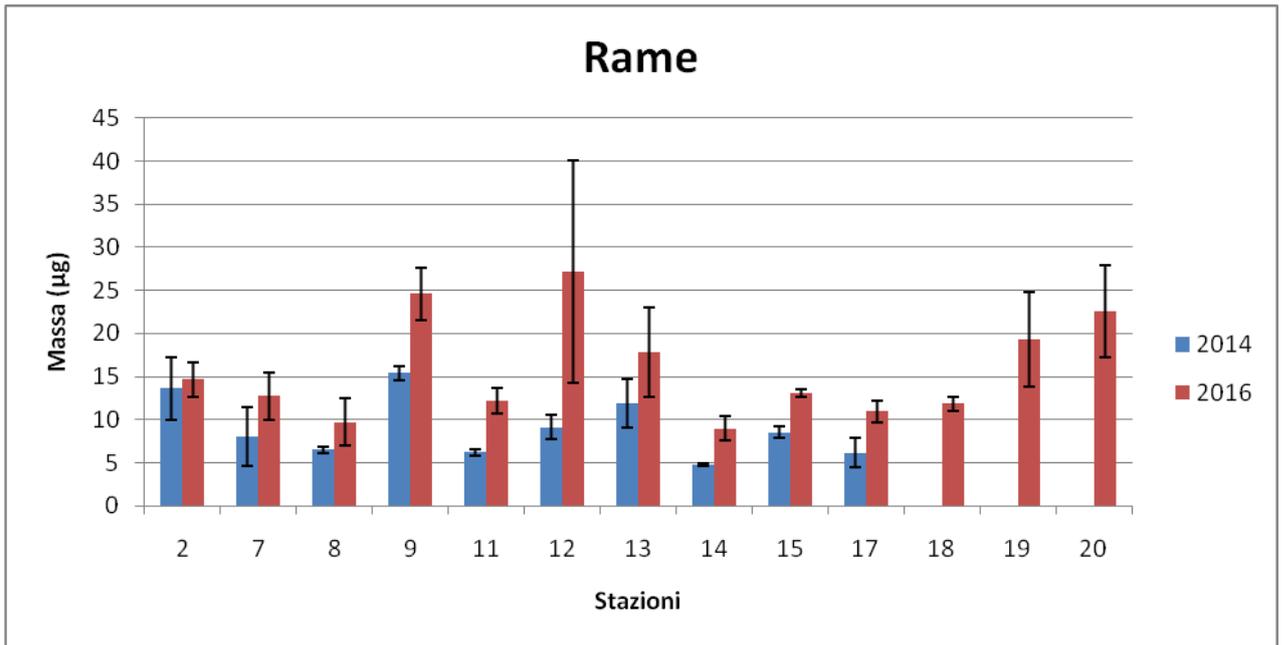


Fig. 3e – Rame.

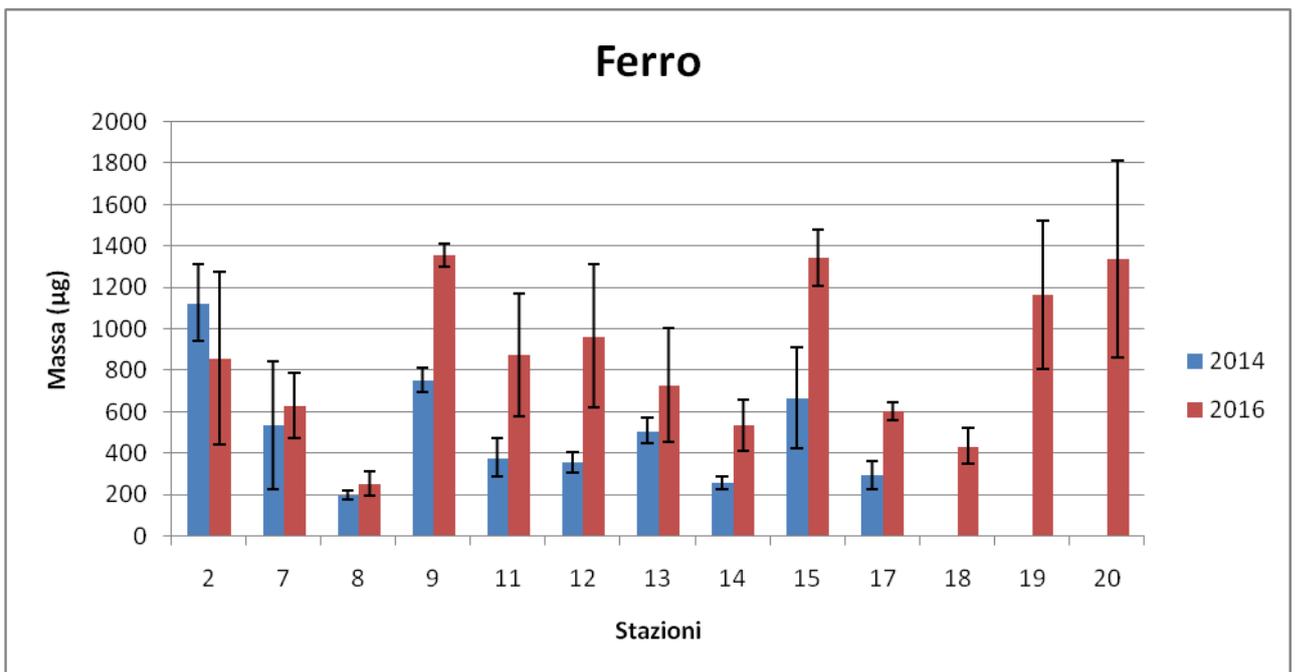


Fig. 3f - Ferro

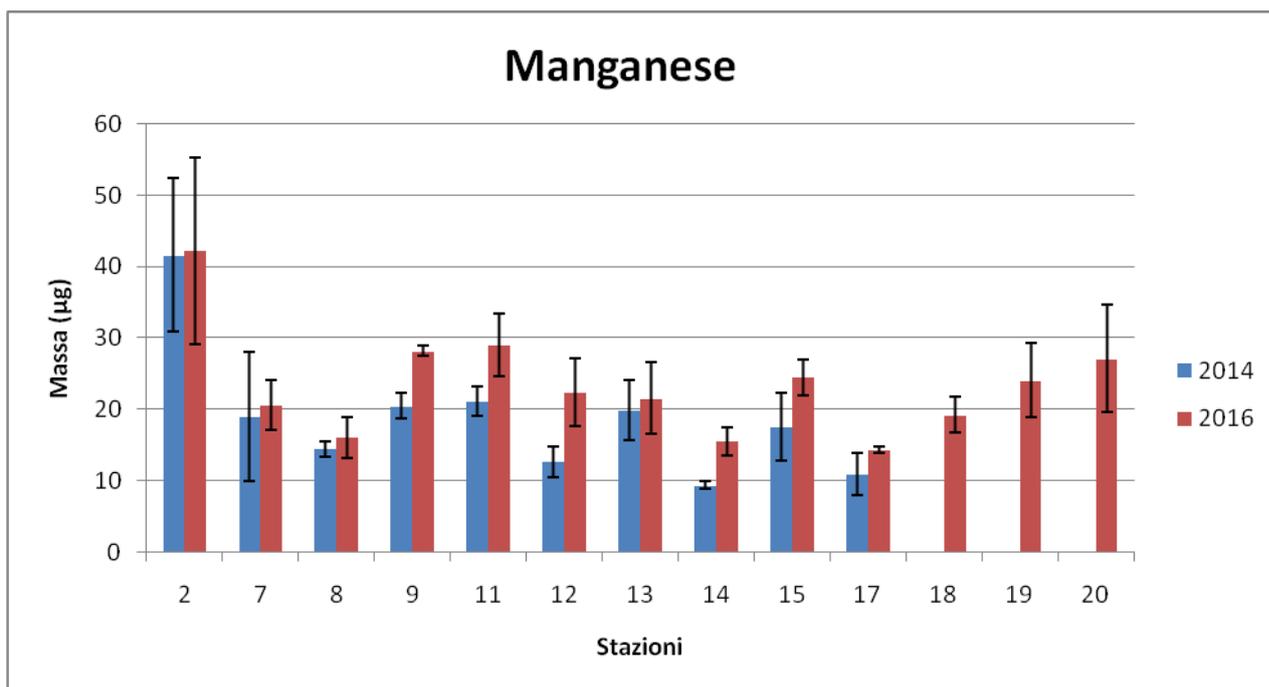


Fig. 3g – Manganese.

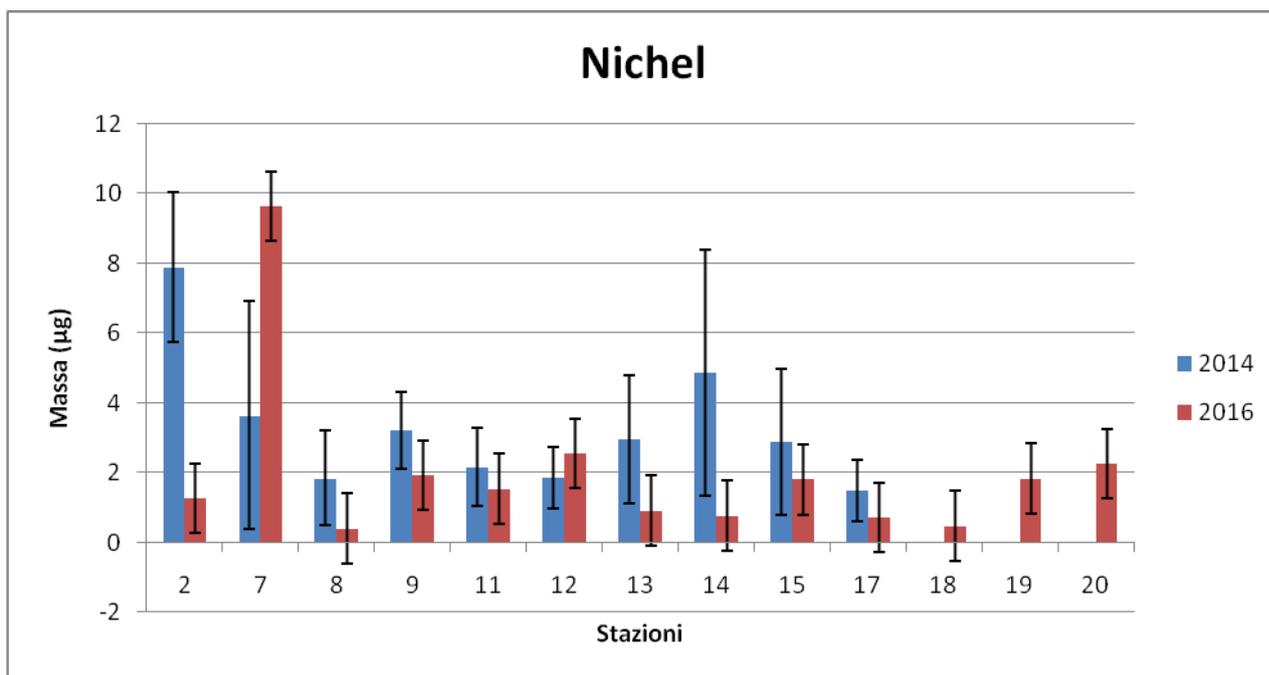


Fig. 3h – Nichel.

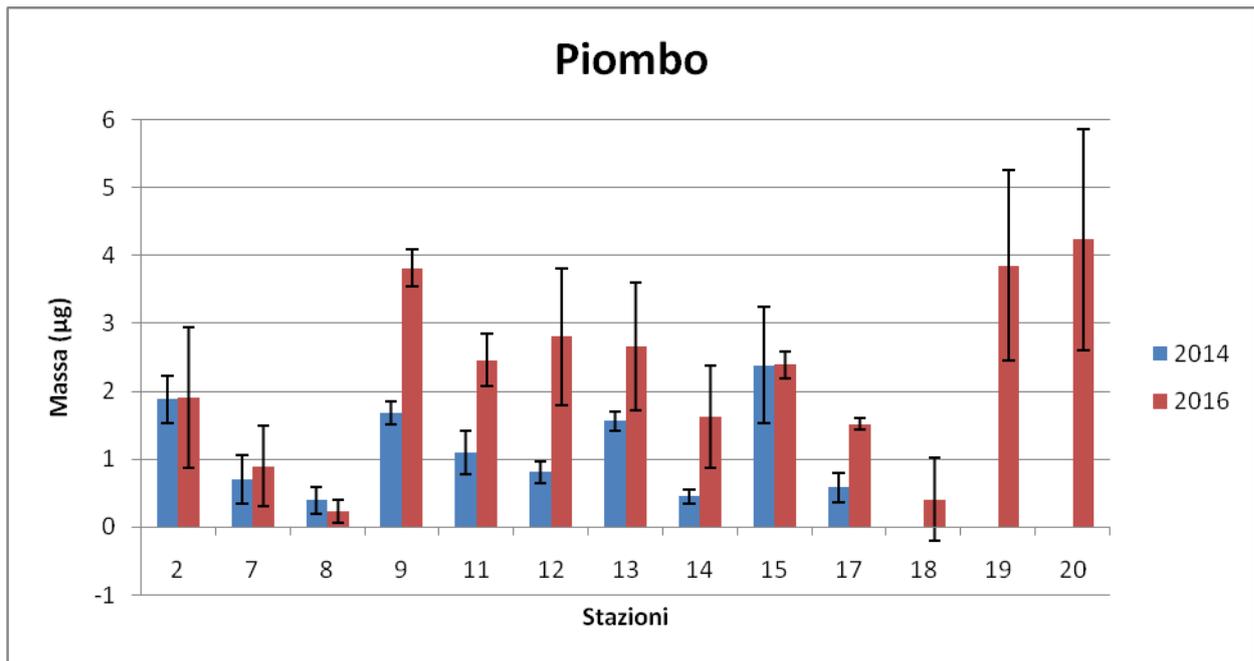


Fig. 3 i – Piombo.

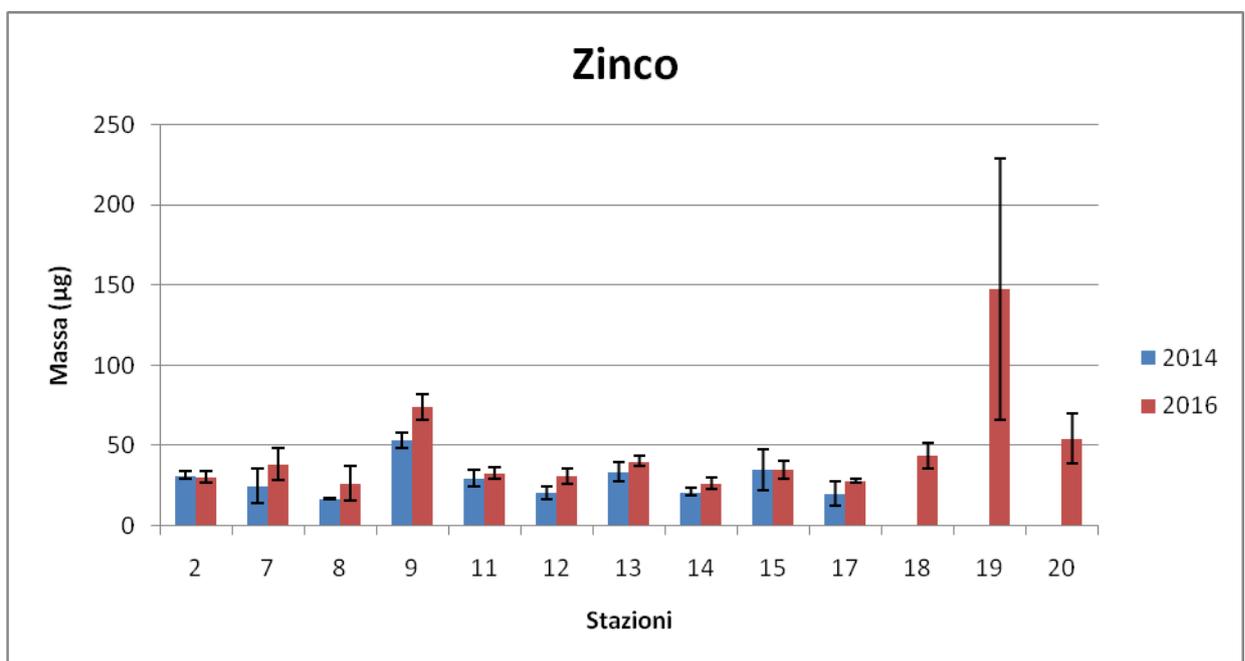


Fig. 3 l – Zinco.

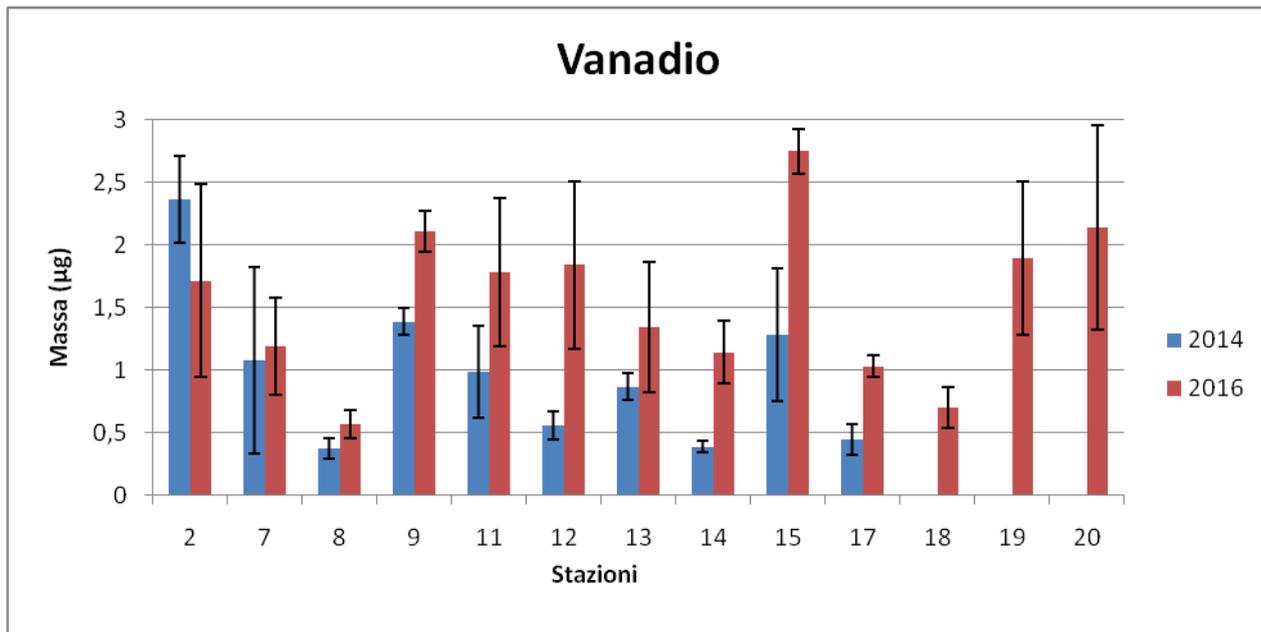
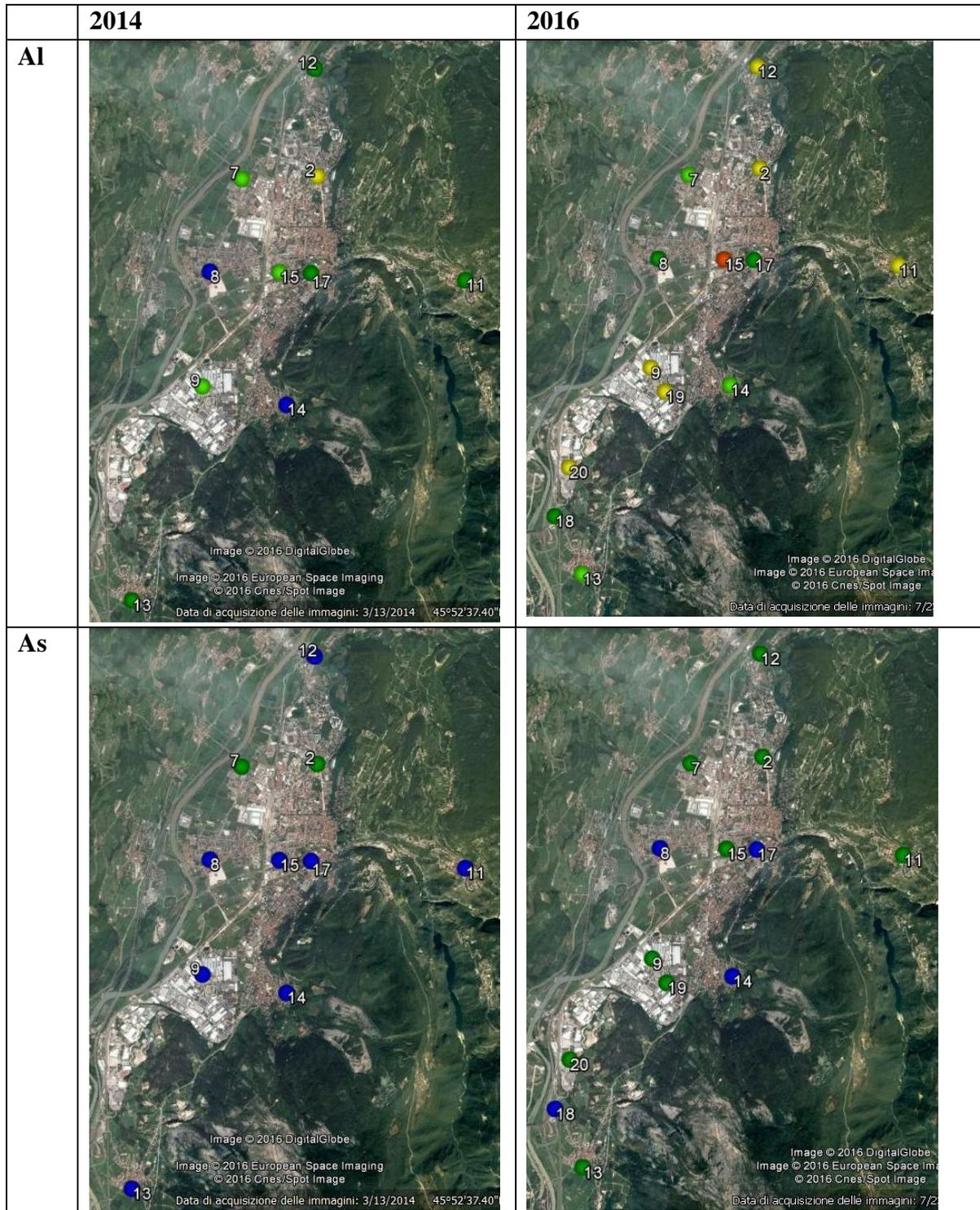
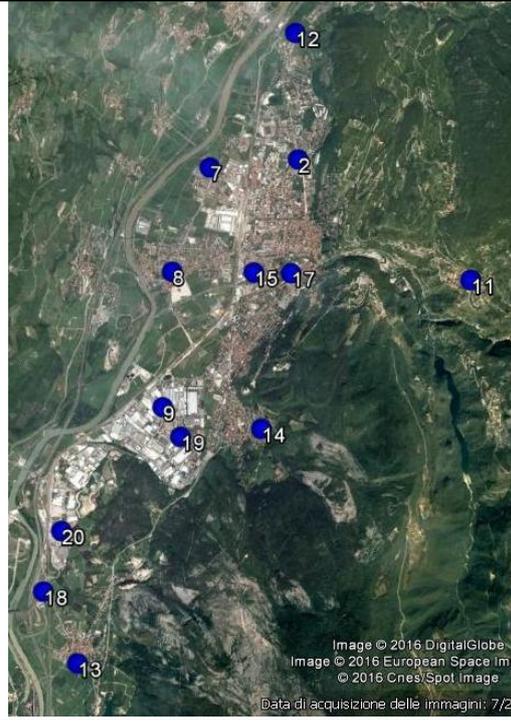
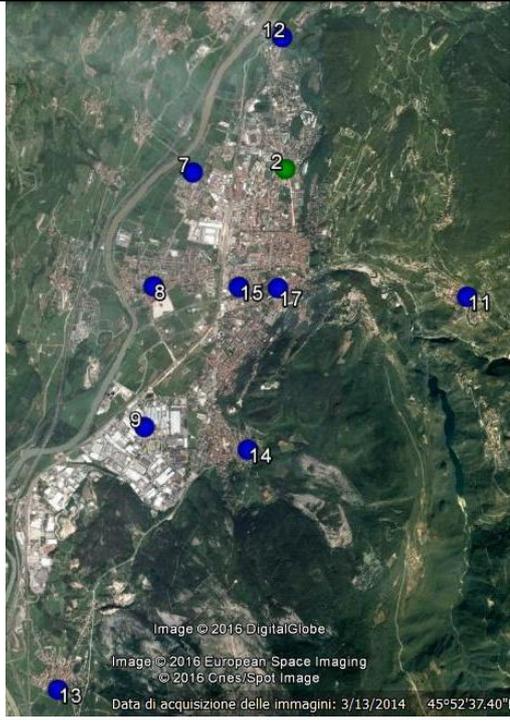


Fig. 3 m – Vanadio.

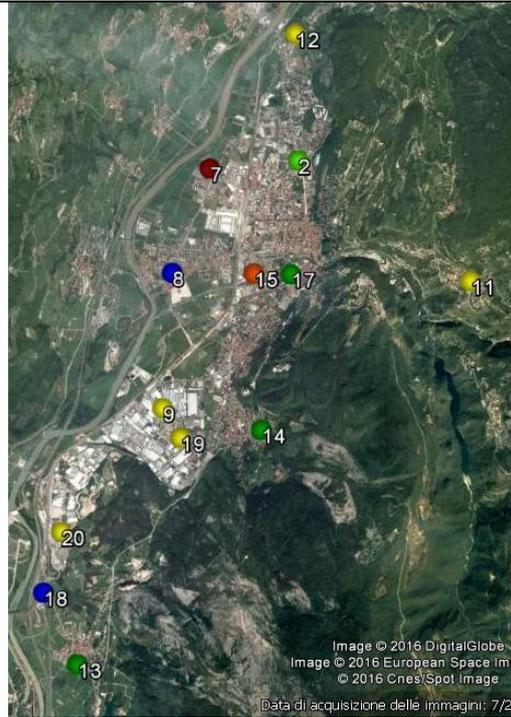
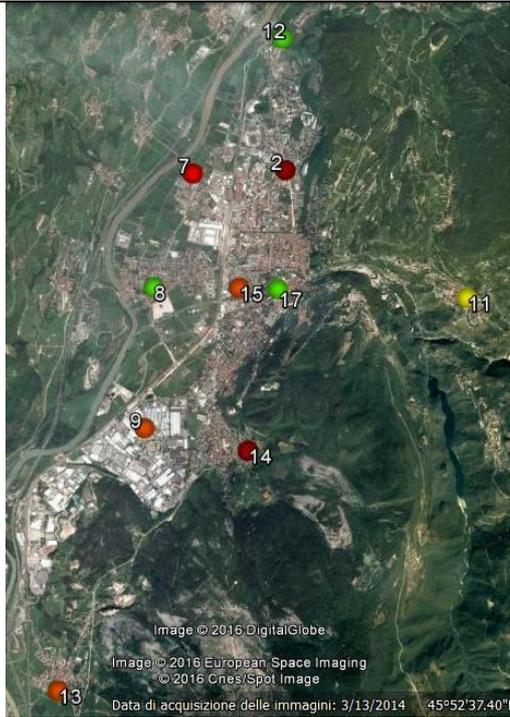
Fig. 4 – Carte tematiche di confronto temporale create con il programma Google Earth. In ciascuna carta sono indicate le stazioni di biomonitoraggio di *Xanthoria parietina* e le classi di alterazione/naturalità di ogni singolo elemento nel 2014 e nel 2016. Le stazioni sono indicate con colori diversi in base alla scala di interpretazione dei valori di bioaccumulo dei diversi elementi secondo Nimis e Bargagli (1999) e Tetriach (2000), riportata in della Tabella 3. Le coordinate geografiche di tutte e 13 le stazioni sono riportate nella Tabella 2.



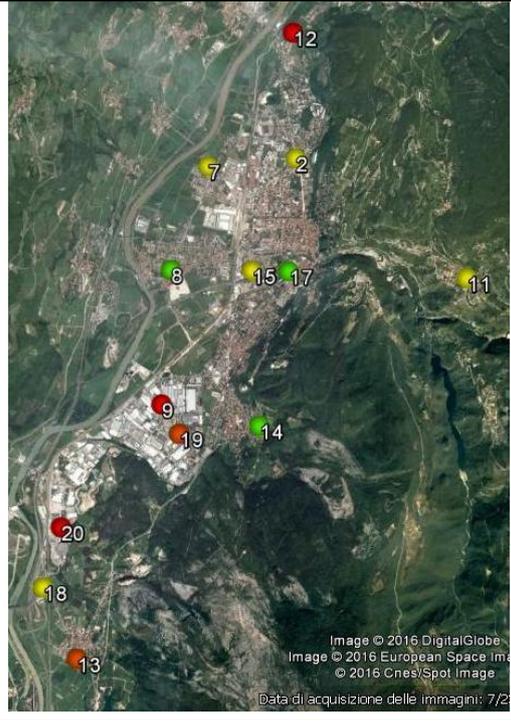
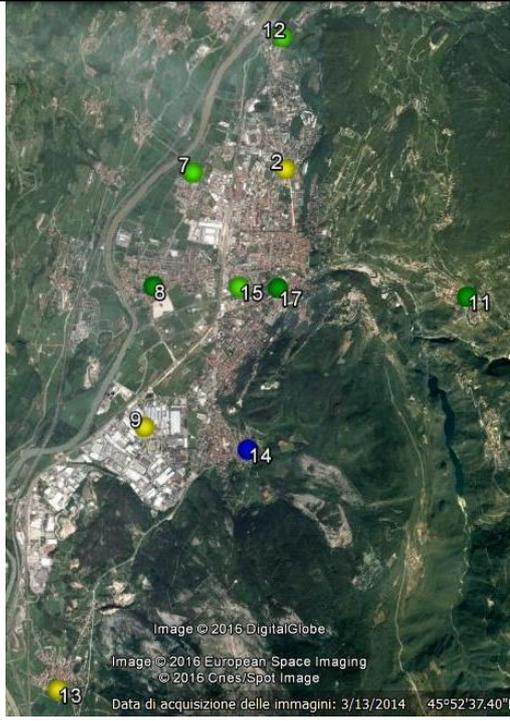
Cd



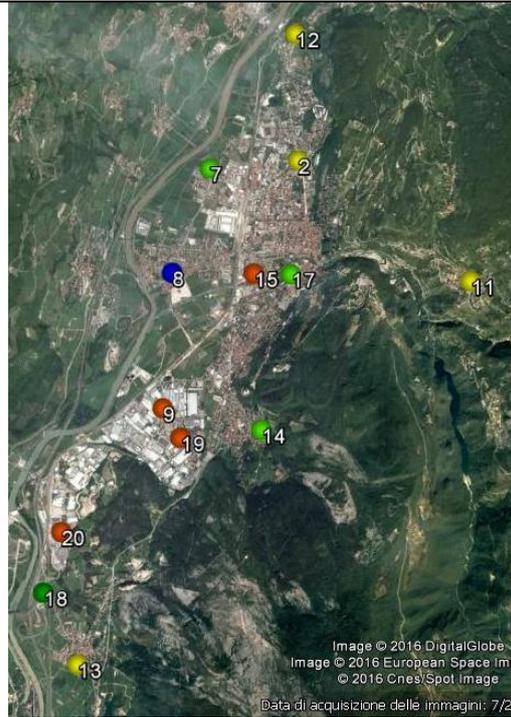
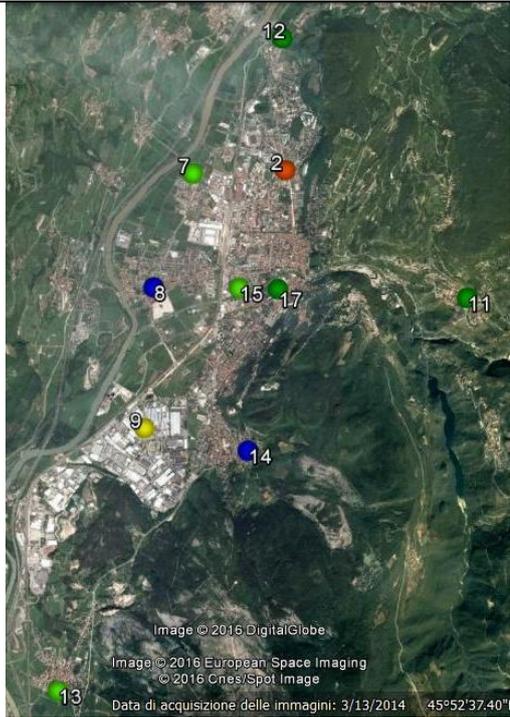
Cr



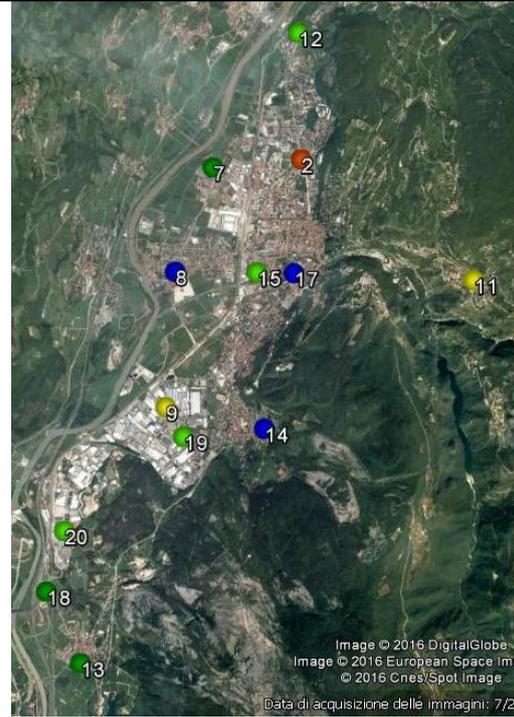
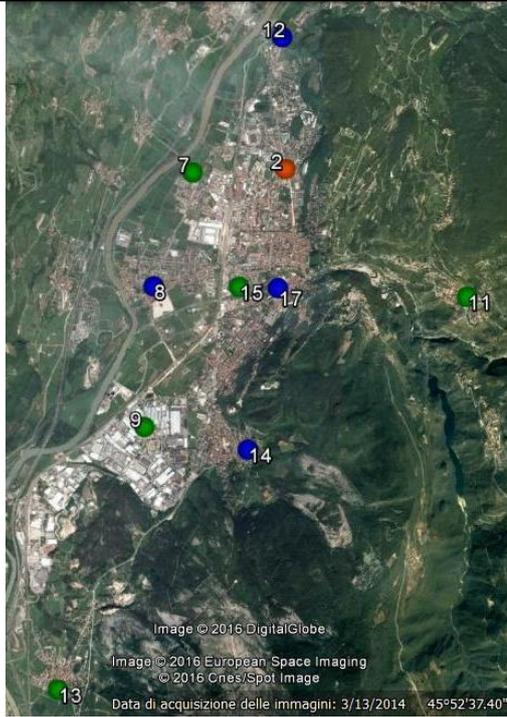
Cu



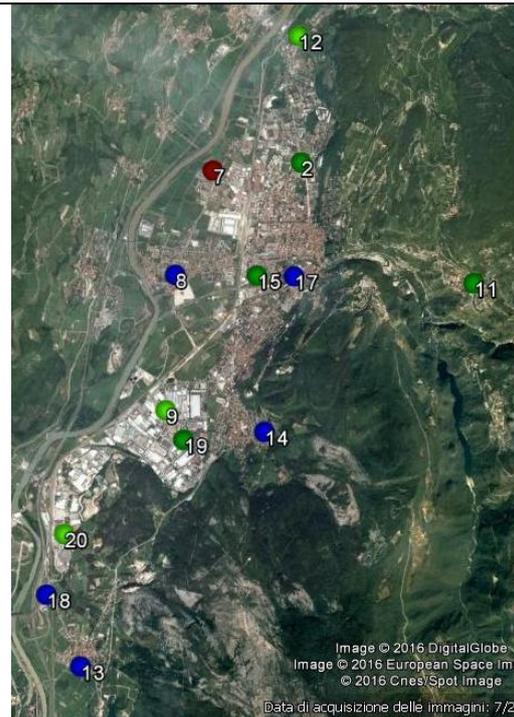
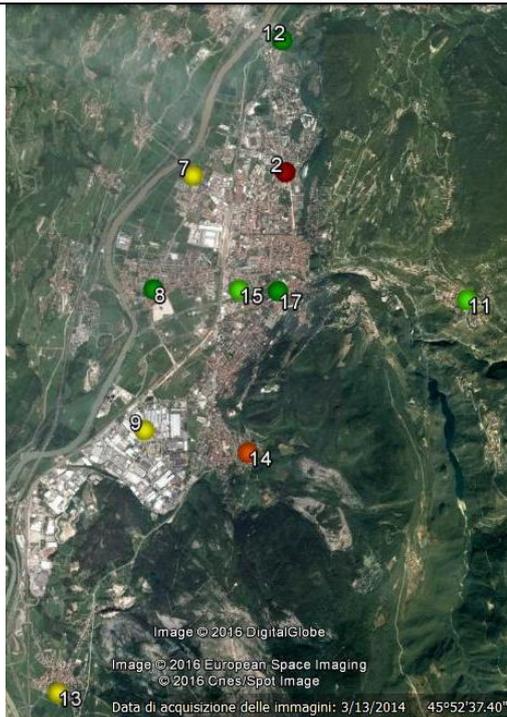
Fe



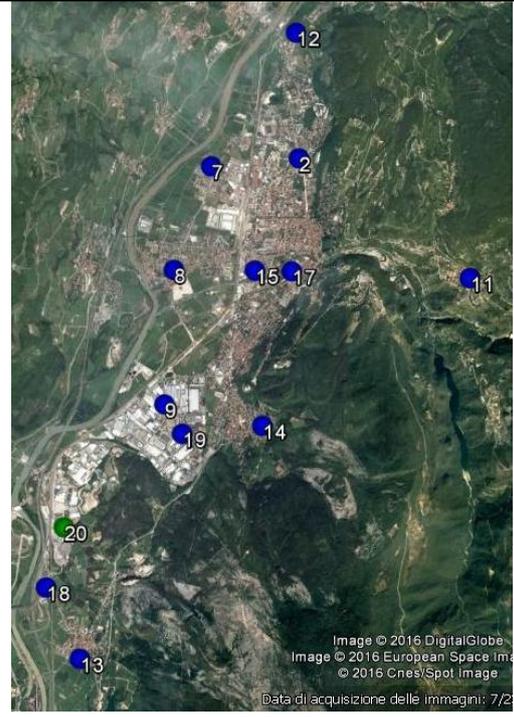
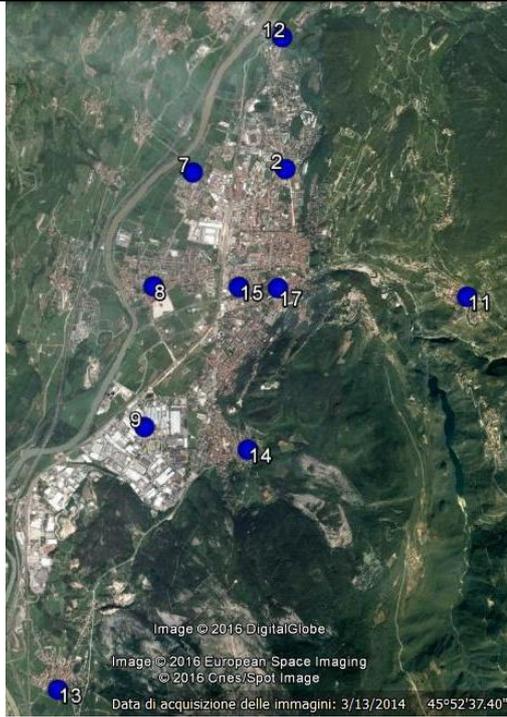
Mn



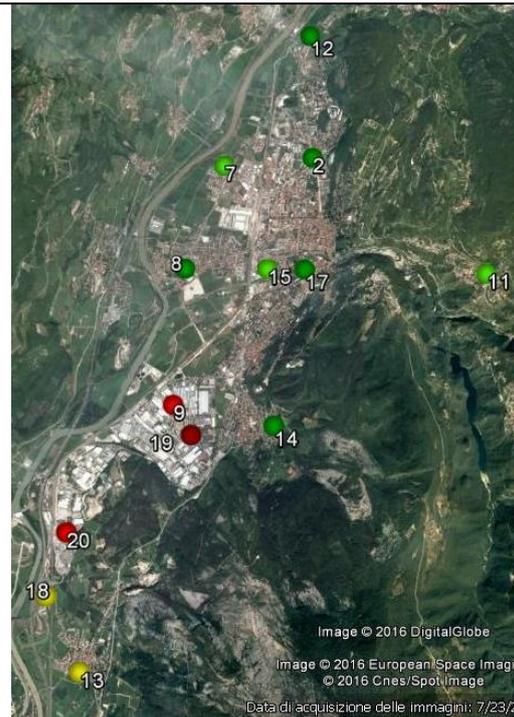
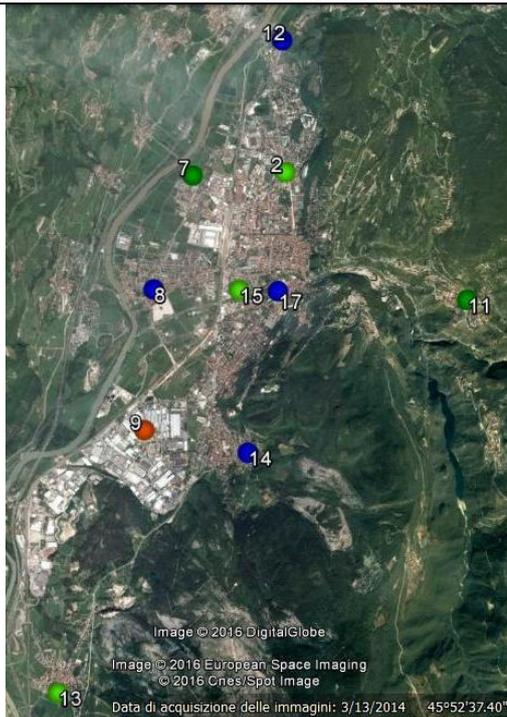
Ni



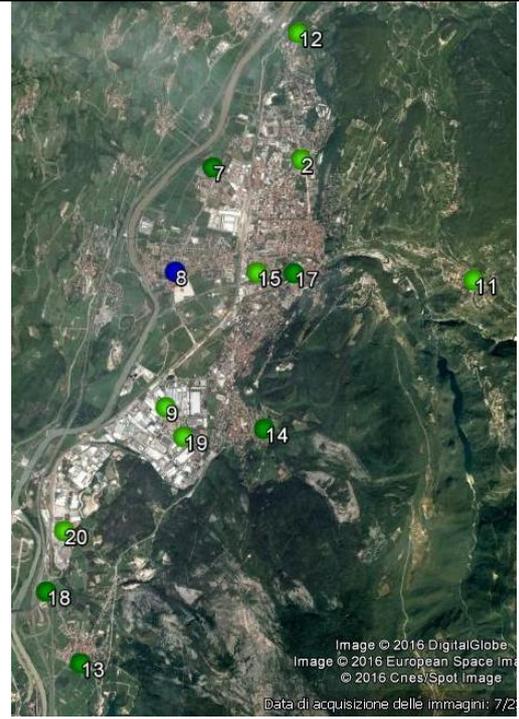
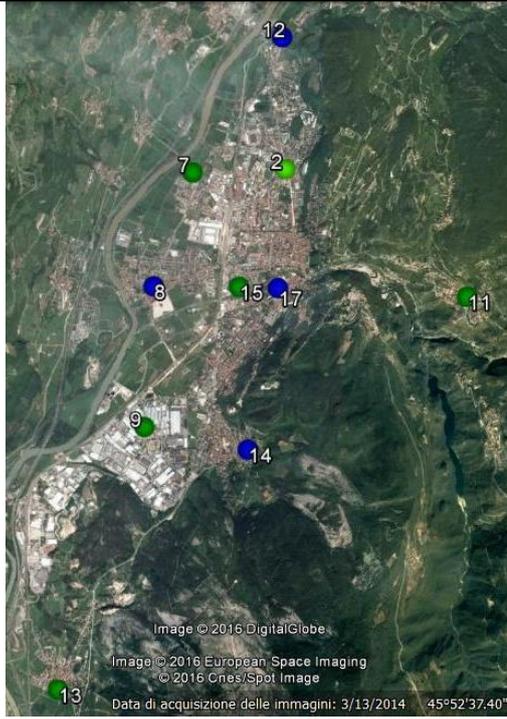
Pb



Zn



V



3.2 – Bioaccumulo in espianti di *Pseudevernia furfuracea*

I valori del rapporto E/C (esposto/controllo) indicano che, eccetto nel caso del Mercurio, del Manganese e dello Zinco, i talli espantati hanno, nella maggior parte dei casi, accumulato elementi in traccia (Tabelle 8 e 9). Per Mercurio, Manganese e Zinco si sono registrate di frequente anche perdite di elementi rispetto ai valori dei campioni di riferimento. Questo pattern potrebbe indicare che questi elementi erano presenti nei campioni di riferimento in modo più abbondante come riflesso delle caratteristiche delle rocce (rocce acide metamorfiche e magmatiche) presenti nel sito di raccolta. Nella maggior parte dei casi si tratta tuttavia di perdite non molto accentuate.

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 Rame, Cromo, Ferro, e in parte Nichel, Piombo e Vanadio. Gli elevati valori di EC registrati in genere per il Rame e il Cromo confermano che questi due elementi potrebbe essere tra i più critici nell'area comunale probabilmente in relazione ad attività industriali e agricole.

Anche questo tipo di indagine, complementare a quella con *Xanthoria parietina*, sembra indicare che le stazioni situate nella zona industriale (N 9, 19, 20) siano potenzialmente tra le più critiche. Trova inoltre riscontro la potenziale criticità emersa con le due campagne di biomonitoraggio con *Xanthoria parietina* per le due stazioni urbane di Corso Bettini (N 2) e del parco San Giorgio, via Europa (N 7). Al contrario, emergono dati relativamente contrastanti rispetto ai risultati del biomonitoraggio con *Xanthoria parietina* per le stazioni 11, 12, 13 e 17 che andrebbero approfonditi con un supplemento di indagine sia mediante biomonitoraggio, sia mediante l'utilizzo di centraline mobili.

	Al	Al E/C	As	Cd	Cr	Cr E/C	Cu	Cu E/C	Fe	Fe E/C	Hg	Hg E/G	Mn	Mn E/C	Ni	Ni E/C	Pb	Pb E/C	Zn	Zn E/C	V	V E/C
Campione rif. A	329	-	n.r	n.r	0,37	-	2,23	-	240	-	0,094	-	68,0	-	0,41	-	0,71	-	30,6	-	0,23	-
Campione rif. B	386	-	n.r	n.r	0,42	-	2,29	-	271	-	0,096	-	74,9	-	0,45	-	0,80	-	53,2	-	0,30	-
Campione rif. C	366	-	n.r	n.r	0,53	-	2,47	-	267	-	0,088	-	67,6	-	0,52	-	0,67	-	25,3	-	0,26	-
Media dei campioni rif.	360,22	-	-	-	0,44	-	2,33	-	259,12	-	0,093	-	70,17	-	0,46	-	0,73	-	36,36	-	0,26	-
Deviazione standard	28,73	-	-	-	0,08	-	0,12	-	17,10	-	0,004	-	4,08	-	0,06	-	0,06	-	14,82	-	0,03	-
Stazione																						
2	553	1,54	n.r	44,2	0,81	1,83	11,4	4,91	495	1,91	0,074	0,79	62,3	0,89	0,60	1,29	1,35	1,86	55,9	1,54	0,54	2,08
7	430	1,19	n.r	44,5	0,58	1,31	15,3	6,59	365	1,41	0,067	0,72	60,3	0,86	0,53	1,14	1,11	1,52	38,4	1,06	0,41	1,56
8	446	1,24	n.r	29,6	0,74	1,67	16,8	7,19	375	1,45	0,064	0,69	74,4	1,06	0,49	1,05	1,11	1,53	25,6	0,70	0,41	1,58
9	466	1,29	n.r	34,4	1,81	4,09	23,4	10,06	599	2,31	0,096	1,04	74,7	1,06	1,21	2,60	1,39	1,92	64,0	1,76	0,51	1,93
11	459	1,27	n.r	39,4	1,34	3,04	7,87	3,38	367	1,42	0,091	0,98	108	1,54	0,94	2,03	0,83	1,14	25,4	0,70	0,37	1,43
12	450	1,25	n.r	49,2	2,63	5,95	11,6	4,97	378	1,46	0,057	0,61	65,0	0,93	1,54	3,31	1,47	2,03	23,5	0,65	0,45	1,73
13	539	1,50	n.r	39,6	0,63	1,43	8,46	3,63	442	1,70	0,077	0,83	54,5	0,78	0,54	1,17	1,36	1,87	26,8	0,74	0,55	2,11
14	326	0,90	n.r	24,7	0,33	0,74	3,90	1,68	249	0,96	< D.L	-	71,1 <	1,01	0,36	0,78	0,76	1,05	16,9	0,47	0,25	0,94
15	401	1,11	n.r	29,5	0,51	1,16	8,04	3,45	343	1,32	0,062	0,66	D.L	-	0,47	1,02	1,26	1,73	36,5	1,00	0,43	1,65
17	510	1,42	n.r	34,4	0,73	1,66	5,24	2,25	421	1,63	0,054	0,58	40,5	0,58	0,58	1,24	1,38	1,90	34,9	0,96	0,56	2,12
18	393	1,09	n.r	29,4	0,73	1,64	12,7	5,44	412	1,59	< D.L	-	45,9	0,65	0,54	1,16	0,96	1,32	40,2	1,11	0,27	1,05
19	572	1,59	n.r	44,2	2,27	5,13	10,6	4,56	570	2,20	0,066	0,72	55,9	0,80	1,34	2,90	1,55	2,13	45,9	1,26	0,55	2,10
20	526	1,46	n.r	34,4	2,40	5,43	14,2	6,11	487	1,88	0,059	0,64	86,1	1,23	1,41	3,03	1,27	1,75	35,2	0,97	0,45	1,73

Tab. 8 - Valori delle concentrazioni dei 12 elementi nei talli di *Pseudevernia furfuracea* e relativi valori del rapporto E/C per ciascun elemento.

Stazione	Al	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Zn	V
2	A	AA	AA	AA	N	N	A	AA	A	AA
7	N	A	AA	A	P	N	N	A	N	A
8	N	A	AA	A	P	N	N	A	P	A
9	A	AA	AA	AA	N	N	AA	AA	AA	AA
11	A	AA	AA	A	N	A	AA	N	P	A
12	N	AA	AA	A	P	N	AA	AA	P	A
13	A	A	AA	A	N	N	N	AA	P	AA
14	N	N	A	N	-	N	N	N	P	N
15	N	N	AA	A	P	-	N	A	N	A
17	A	A	AA	A	P	P	N	AA	N	AA
18	N	A	AA	A	-	P	N	A	N	N
19	A	AA	AA	AA	P	N	AA	AA	A	AA
20	A	AA	AA	AA	P	N	AA	A	N	A

Tab. 9 - Sintesi dei tassi di accumulo/perdita per ciascun elemento in ciascuna stazione. Le sigle indicano: P = perdita, N = normale, A = accumulo, AA = accumulo accentuato.

4. CONCLUSIONI

Con questa seconda campagna di biomonitoraggio nel Comune di Rovereto si è provveduto ad ampliare sia il numero di stazioni, con particolare focus sulla zona industriale e di pertinenza dell'impianto di smaltimento dei rifiuti, sia gli strumenti interpretativi affiancando all'indagine basata su materiale autoctono quella basata sull'esposizione di espanti lichenici durante la stagione invernale, potenzialmente più critica.

Questa rete integrata di biomonitoraggio ha permesso di evidenziare 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, potrebbe essere verificata mediante l'utilizzo di misurazioni chimico-fisiche. Inoltre, un supplemento di indagine (es. maggior numero di campioni) con l'approccio del biomonitoraggio sarebbe utile soprattutto laddove la variabilità del dato fin'ora ottenuto rimane elevata, lasciando spazio a valutazioni poco supportate.

Nel proseguimento del progetto, l'indagine mediante espanti potrebbe essere eseguita con cadenza biennale, eventualmente con due cicli stagionali (inverno ed estate), mentre l'indagine con *Xanthoria parietina* potrebbe essere eseguita con una minor frequenza temporale, ad esempio ogni 4 anni.

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.
- Fрати 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 metallic 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.