

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



A cura di:  
Dr. Juri Nascimbene

Con la collaborazione di:  
Dr. Franco Finotti (Museo Civico di Rovereto)  
Dr.ssa Federica Bertola (Museo Civico di Rovereto)  
Dr. Diego Ivan (Università di Padova)  
Prof. Emanuele Argese (Università di Venezia)

**Luglio, 2014**

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

## **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 valutare gli effetti di singole fonti inquinanti e di verificare trend temporali mediante campagne di biomonitoraggio con ricampionamento ripetute nel tempo.

Il progetto avviato nel Comune di Rovereto nel 2013 è basato sull'analisi di materiale autoctono raccolto in 10 stazioni distribuite nel territorio comunale. La attuazione del progetto secondo questa tecnica di biomonitoraggio è stata possibile grazie alla presenza in loco (verificata preliminarmente) di specie licheniche adatte. In particolare l'indagine è basata sull'utilizzo della specie *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr., facilmente riconoscibile per il tallo foglioso a lobi larghi, di colore arancione che normalmente presenta nella parte centrale evidenti corpi fruttiferi ed è ampiamente utilizzata in studi di questo tipo (per esempio Loppi, 1999; Tretiach & Baruffo, 2001).

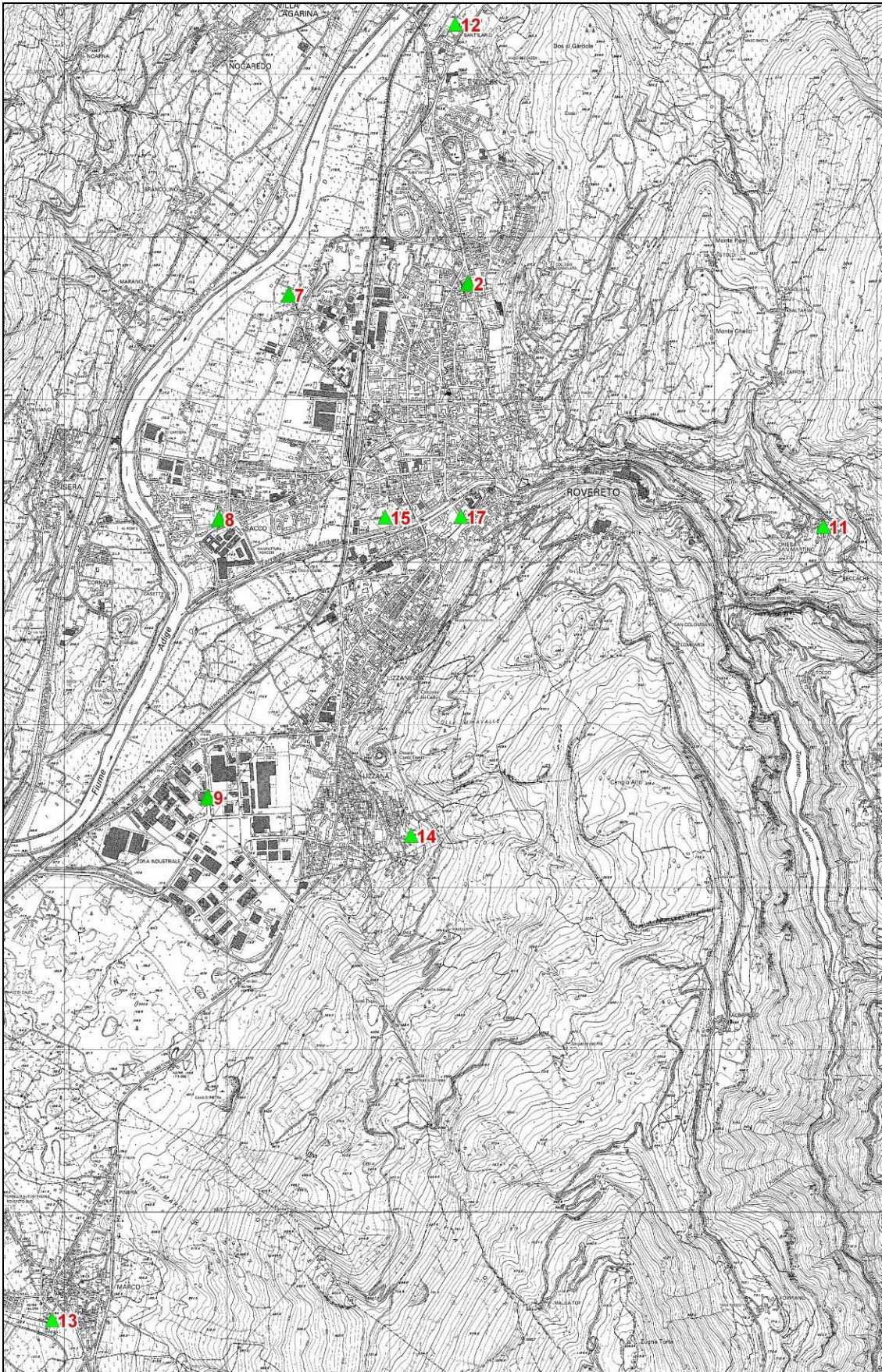
## **2. MATERIALI E METODI**

### *2.1 - Le stazioni di campionamento*

Una indagine preliminare ha permesso di individuare una serie di siti (17) potenzialmente idonei alla realizzazione del campionamento (presenza del lichene *Xanthoria parietina*), distribuiti in modo abbastanza omogeneo nel territorio comunale in modo da rappresentare diverse situazioni di antropizzazione: centro urbano, frazioni, zona industriale. Una successiva valutazione, basata sulla effettiva disponibilità di materiale lichenico e sull'esigenza di evitare situazioni ridondanti con stazioni eccessivamente ravvicinate tra loro, ha portato ad individuare 10 siti sui quali si è successivamente concentrata l'attività del progetto (Figura 1; Tabella 1).



**Figura 1** – Distribuzione delle 10 stazioni di campionamento nel territorio del Comune di Rovereto





**Tabella 1** – Localizzazione geografica, quota (m s.l.m.) e indicazioni stradali relative alle 10 stazioni utilizzate per il progetto di biomonitoraggio.

ID	LAT	LON	QUOTA	NOTE
2	45,8976	11,0426	234	Rovereto, Corso Bettini (dal civico 6 al 10)
7	45,8973	11,0283	191	Rovereto, parco San Giorgio, via Europa
8	45,8849	11,0223	192	Sacco, parco di fronte alla Manifattura
9	45,8696	11,0209	184	Rovereto, Viale dell'Industria (da TecnoDisel a Gasperotti)
11	45,8837	11,0702	402	Noriglio, davanti alla Chiesa
12	45,9120	11,0421	191	Rovereto, Sant'Ilario, nel parcheggio ITIS
13	45,8409	11,0075	144	Marco, giardino esterno scuole elementari
14	45,8672	11,0369	236	Lizzana alta, giardini di Corna Calda
15	45,8848	11,0355	166	Rovereto, parcheggio della piscina, di fronte all'asilo
17	45,8847	11,0415	254	Rovereto, via Prima Armata, oratorio di Santa Maria

## 2.2 - Campionamento dei talli lichenici

Il campionamento dei talli del lichene *Xanthoria parietina* (Figura 2) 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 30 campioni (tre repliche biologiche per ciascuna stazione). Ogni albero è stato georeferenziato (Tabella 2). Questa attività è stata svolta in un'unica giornata (07/03/2014) conforme agli standard meteorologici indicati in Nimis & Bargagli (1999), ovvero non piovosa e non a ridosso di giorni con rilevanti precipitazioni.

**Figura 2** – Il lichene epifita *Xanthoria parietina* (L.) Th.Fr. è tra le specie più comuni in tutta Italia. E' nitrofila e colonizza vari tipi di substrato, inclusi quelli artificiali come attrezzi agricoli di ferro, paracarri, vetri, oggetti in plastica. E' estremamente comune soprattutto nelle aree di pianura e collinari, sia in ambienti agrari sia urbani, ma anche in boschi ripariali e querceti. Il suo tallo è foglioso, largo 4-10 cm, suddiviso in lobi di colore arancione-giallo, larghi 1-5 mm. Di solito presenta numerosi corpi fruttiferi a forma di scodella (apoteci) nella zona centrale del tallo.



**Tabella 2** - Coordinate degli alberi su cui sono stati prelevati i talli lichenici.

Stazione	Albero	Lat	Long
2	1	5084710	658448
2	2	5084700	658456
2	3	5084728	658445
7	1	5084608	657375
7	2	5084652	657351
7	3	5084648	657357
8	1	5083236	656915
8	2	5083248	656914
8	3	5083272	656919
9	1	5081671	656839
9	2	5081632	656838
9	3	5081563	656841
11	1	5083216	660637
11	2	5083200	660611
11	3	5083185	660594
12	1	5086304	658374
12	2	5086307	658373
12	3	5086290	658362
13	1	5078327	655889
13	2	5078323	655891
13	3	5078601	655835
14	1	5081309	658087
14	2	5081302	658099
14	3	5081306	658088
15	1	5083273	657972
15	2	5083278	657927
15	3	5083253	657867
17	1	5083273	658406
17	2	5083265	658396
17	3	5083437	658502

### *2.3 - Preparazione dei campioni per le analisi*

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.

## 2.4 - Analisi dei metalli in traccia

Le analisi hanno riguardato la determinazione di 11 elementi: Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, V e sono state realizzate presso il laboratorio del Professor 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 MΩ.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 HNO<sub>3</sub> 0.1M per 48h e poi risciacquati con acqua Milli-Q.

Una quantità di 0,10 g di ogni campione è stata digerita completamente con 2 ml di H<sub>2</sub>O Milli-Q, 3 ml di HNO<sub>3</sub> concentrato e 2 ml di H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 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 25ml 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 stato sempre al di sotto del 10%).

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

## 2.5 – Scala di interpretazione dei risultati e analisi dei dati

Per ogni stazione si sono calcolati il valore medio e la deviazione standard utilizzando i dati di concentrazione di ciascun elemento nei tre campioni. 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). 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).

**Tabella 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.

Percentili	Classe	Naturalità/Alterazione	Colori	Al	As*	Cd	Cr	Mn	Ni	Cu
20°	1	Naturalità molto alta	Blu	<312	<0.2	<0.17	<1.52	<16.5	<0.99	<5.73
50°	2	Naturalità alta	Verde scuro	541	0.6	0.29	2.47	22	1.86	7.90
75°	3	Naturalità media	Verde chiaro	920	1.2	0.43	3.58	28	2.93	11
90°	4	Naturalità / Alterazione basse	Giallo	1475	1.9	0.74	5.57	40.91	4.22	15.9
95°	5	Alterazione media	Arancione	2068	2.4	0.98	7.17	47.22	5.21	20.82
98°	6	Alterazione alta	Rosso	3089	3.0	1.4	9.61	62.62	7.10	35.27
	7	Alterazione molto alta	Cremisi	>3089	>3.0	>1.4	>9.61	>62.62	>7.10	>35.27
Max ITA				8390		2.55	60.5	136.2	34.4	148.32

Percentili	Classe	Naturalità/Alterazione	Colori	Fe	Pb*	Zn	V*
20°	1	Naturalità molto alta	Blu	<288.8	<4	<24.9	<0.63
50°	2	Naturalità alta	Verde scuro	448	10	31.35	1.7
75°	3	Naturalità media	Verde chiaro	668	25	39	3.1
90°	4	Naturalità / Alterazione basse	Giallo	1032.6	55	47.15	5.1
95°	5	Alterazione media	Arancione	1362	80	54	6.7
98°	6	Alterazione alta	Rosso	1669.8	108	83.26	9.3
	7	Alterazione molto alta	Cremisi	>1669.8	>108	>83.26	>9.3
Max ITA				4276	494	164	15



### 3. RISULTATI

Considerando tutti i campioni analizzati (Tabella 4), le concentrazioni di 7 elementi (Al, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn) coprono un ampio range di valori che va da condizioni di background, o prossime al background, a condizioni di media-molto alta alterazione, con valori medi che tuttavia rientrano nelle condizioni di naturalità (ad eccezione del Cr e in parte del Ni). Alcuni degli elementi di elevato interesse tossicologico, come As, Cd, Pb e V, presentano uniformemente valori riferibili a condizioni di background, o prossime al background. Nella maggior parte dei casi, i valori registrati in ciascuna stazione sono tra loro abbastanza concordanti e attribuibili a condizioni di naturalità/alterazione tra loro paragonabili. Tuttavia, in alcuni casi vi è una rilevante variabilità intra-sito, come ad esempio nel caso del Cr e del Ni nelle stazioni 7, 11, 13 e 14.

La valutazione complessiva delle stazioni è basata sui valori medi dei tre campioni analizzati in ciascuna di esse (Tabella 5; Figura 3). Le condizioni di maggior criticità sono state riscontrate nella stazione 2 (Rovereto - Corso Bettini) dove le concentrazioni di Cr e Ni riflettono condizioni di notevole alterazione. Questa situazione trova riscontro anche negli indici sintetici riportati nelle ultime tre colonne di Tabella 5 in cui si vede che in questo sito vi siano il valore più basso dell'Indice sintetico di Naturalità e i valori più elevati degli Indici sintetici di alterazione e tossicità potenziale. Vi sono poi altre due stazioni (9, Zona industriale e 14, Lizzana Alta) in cui rispettivamente Cr e Zn, e Cr e Ni hanno valori medi riconducibili a situazioni di alterazione (da media a molto elevata). Nelle stazioni 7 (parco San Giorgio-Via Europa) e 13 (Marco, giardino esterno delle scuole elementari) solo il Cr ha valori riconducibili a situazioni di media-elevata alterazione. In generale, è questo elemento, abbinato eventualmente al Ni, a determinare i valori di tossicità potenziale delle stazioni. Tuttavia, l'Indice sintetico di alterazione segnala situazioni di potenziale criticità soltanto in poche stazioni, mentre l'Indice sintetico di naturalità segnala situazioni favorevoli in molte stazioni, legate al fatto che una buona parte degli elementi analizzati hanno valori riconducibili alle prime due classi della scala di valutazione (Naturalità alta-molto alta), come nel caso della stazione 8 (Sacco), 12 (Sant'Ilario), 14 (Lizzana Alta), e 17 (Via Prima Armata).

**Tabella 4** - Tabella in cui vengono riportati i valori delle concentrazioni (espressi in µg/g) di ciascun elemento in ciascun campione. Vengono inoltre riportati i valori massimi, minimi, medi e la relativa deviazione standard ottenuti nell'area di studio. Ad ogni valore è stato attribuito il colore corrispondente alle classi di naturalità/alterazione della scala di riferimento riportata in Tabella 3.

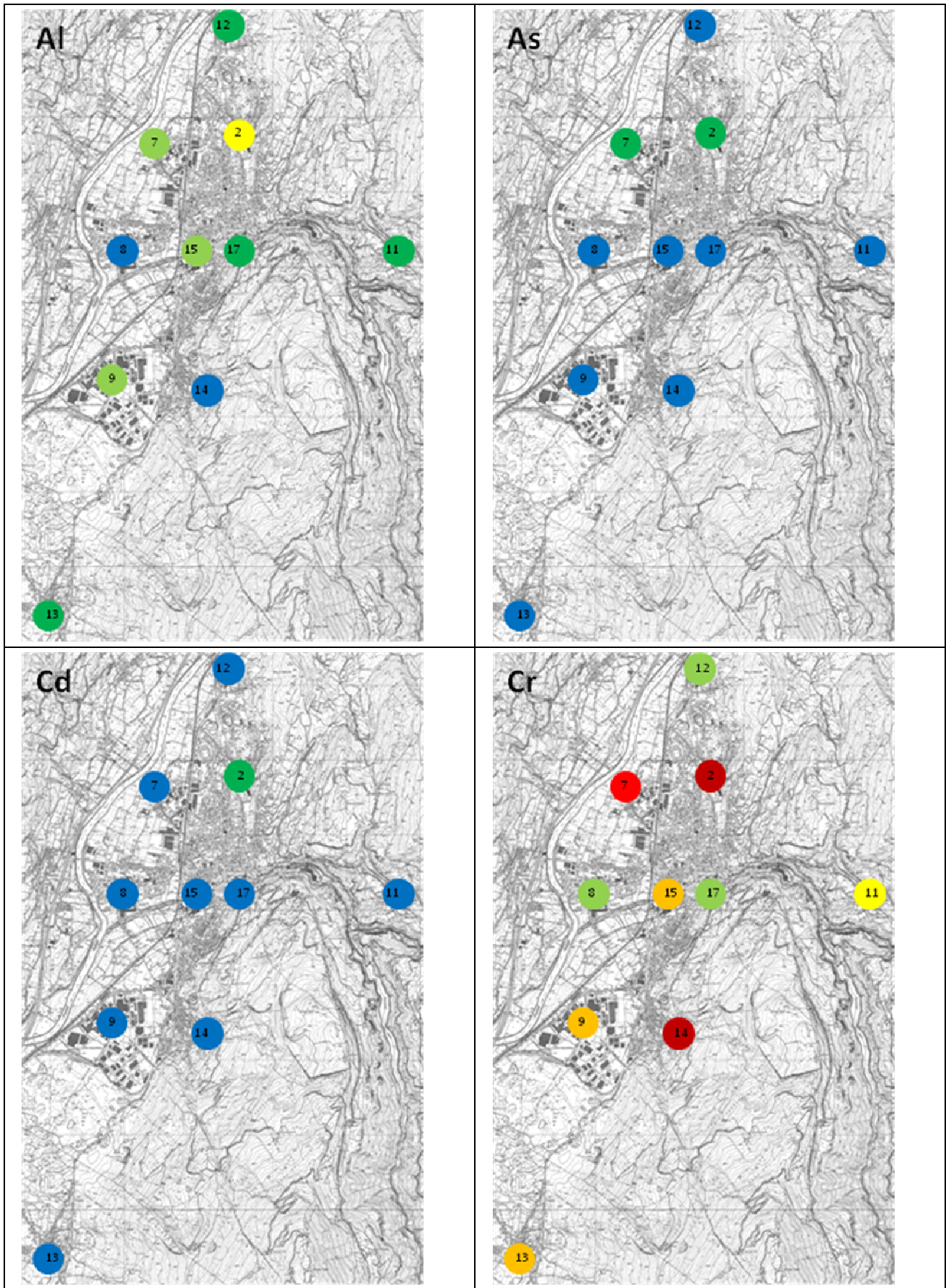
Stazione	Albero	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	V
2	1	1337,12	0,56	0,33	18,46	17,67	1088,35	52,81	8,54	2,28	33,96	2,47
2	2	1131,29	0,26	0,11	20,83	12,34	963,97	31,34	9,62	1,62	29,52	1,98
2	3	1566,27	0,35	0,10	13,11	10,88	1326,90	40,75	5,49	1,76	31,11	2,64
7	1	265,06	0,10	0,03	3,03	4,49	247,18	9,56	1,19	0,36	12,93	0,42
7	2	593,78	0,20	0,09	16,24	8,39	500,00	20,14	7,35	0,66	29,71	0,93
7	3	1218,93	0,34	0,07	4,99	11,16	860,17	27,54	2,38	1,09	32,70	1,89
8	1	208,34	0,06	0,06	4,17	5,92	206,42	12,93	1,60	0,28	16,39	0,35
8	2	194,36	0,05	0,07	1,84	6,63	181,60	14,94	0,61	0,28	17,11	0,29
8	2bis	183,63	0,07	0,06	1,88	6,95	182,05	15,04	n.d.	0,34	16,77	0,48
8	3	367,59	0,05	0,06	4,51	6,47	221,59	14,97	3,30	0,69	16,16	0,39
9	1	760,61	0,18	0,10	7,55	16,58	835,64	22,26	3,58	1,91	60,22	1,48
9	2	674,73	0,15	0,09	8,44	14,76	717,18	18,85	3,85	1,54	50,84	1,25
9	2bis	664,85	0,19	0,09	7,80	14,95	714,00	19,02	3,84	1,57	52,63	1,47
9	3	704,84	0,18	0,16	3,82	15,35	744,82	21,72	1,55	1,69	49,85	1,36
11	1	332,61	0,09	0,08	1,97	6,35	308,23	19,66	0,91	0,94	35,17	0,94
11	2	523,69	0,12	0,06	6,66	6,47	483,17	20,19	3,11	1,47	28,92	1,37
11	3	416,02	0,07	0,06	5,62	5,77	346,32	23,63	2,45	0,89	24,68	0,64
12	1	203,33	0,07	0,06	2,86	10,65	348,28	14,35	0,93	0,92	23,40	0,48
12	2	478,98	0,05	0,06	5,18	8,81	410,97	13,35	1,98	0,88	16,31	0,69
12	3	341,86	0,04	0,06	2,51	7,94	307,68	10,16	2,67	0,63	21,55	0,51
13	1	563,37	0,14	0,06	6,88	14,60	579,70	23,17	2,99	1,51	32,97	0,99
13	2	473,76	0,12	0,06	2,67	12,00	480,75	21,43	1,11	1,45	28,22	0,82
13	3	463,19	0,14	0,17	11,12	9,04	466,06	15,22	4,79	1,72	40,32	0,79
14	1	231,88	0,05	0,08	7,82	4,70	240,10	9,01	3,42	0,35	19,80	0,37
14	2	223,12	0,04	0,09	5,10	4,84	236,24	9,06	2,29	0,45	23,86	0,36
14	3	255,16	0,04	0,10	18,68	5,01	294,59	9,98	8,90	0,55	19,67	0,44
15	1	1090,68	0,26	0,07	11,00	7,78	940,54	22,84	5,05	1,48	27,16	1,86
15	2	249,75	0,14	0,11	2,37	8,97	482,41	13,48	0,87	2,51	49,36	0,82
15	3	488,10	0,11	0,09	6,89	8,93	572,92	16,42	2,73	3,17	28,03	1,18
17	1	762,14	0,06	0,06	3,75	7,43	346,48	14,32	2,11	0,79	26,56	0,58
17	2	228,98	0,05	0,05	4,92	6,78	323,19	9,45	1,85	0,62	21,71	0,43
17	3	364,44	0,05	0,02	1,59	4,23	215,03	9,10	0,47	0,36	11,37	0,33
	Max	1566,27	0,56	0,33	20,83	17,67	1326,90	52,81	9,62	3,17	60,22	2,64
	Min	183,63	0,04	0,02	1,59	4,23	181,60	9,01	0,47	0,28	11,37	0,29
	Media	548,83	0,14	0,09	7,01	9,15	505,39	18,65	3,28	1,15	29,03	0,97
	DS	365,46	0,1	0,1	5,3	3,84	296,28	9,45	2,5	0,7	12,4	0,6

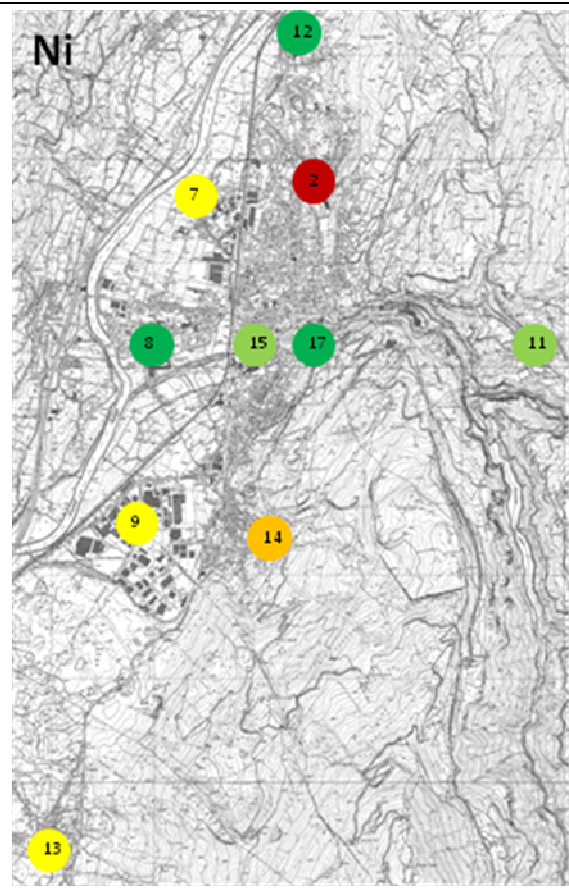
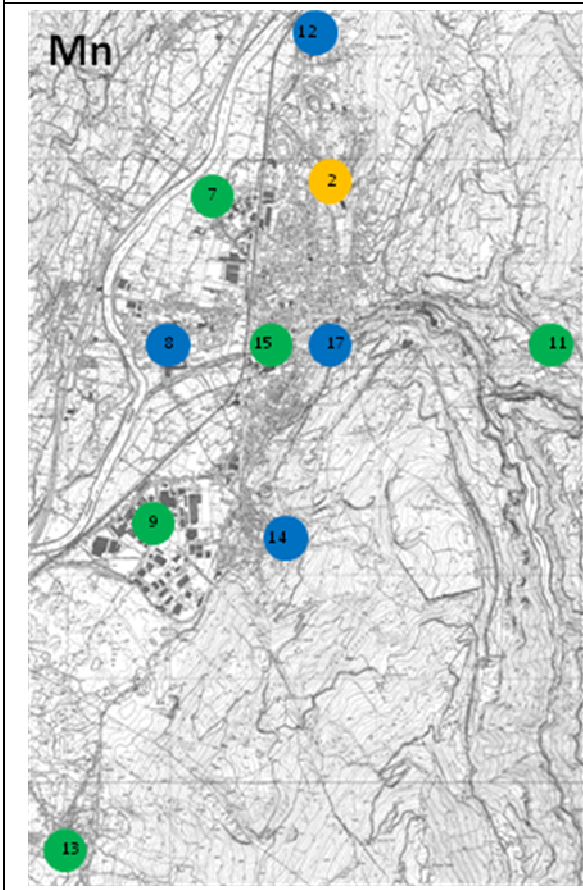
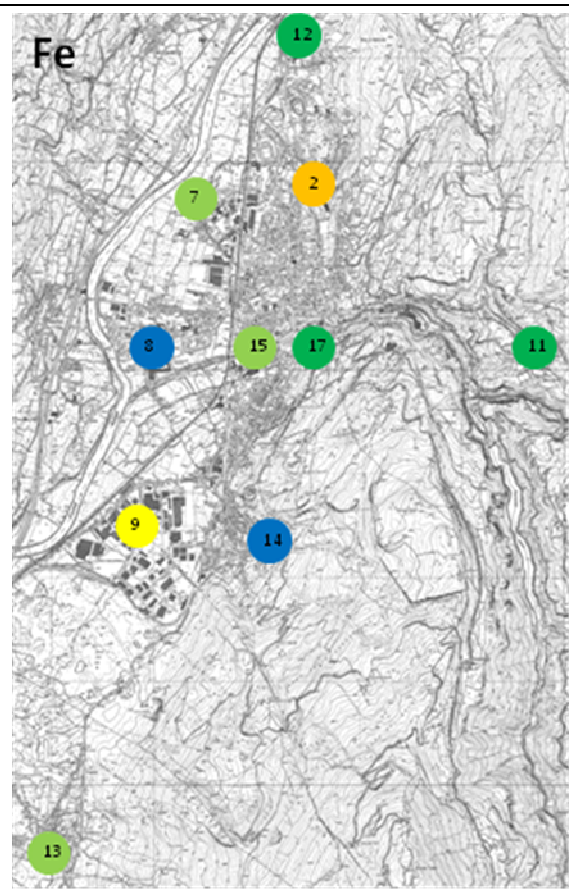
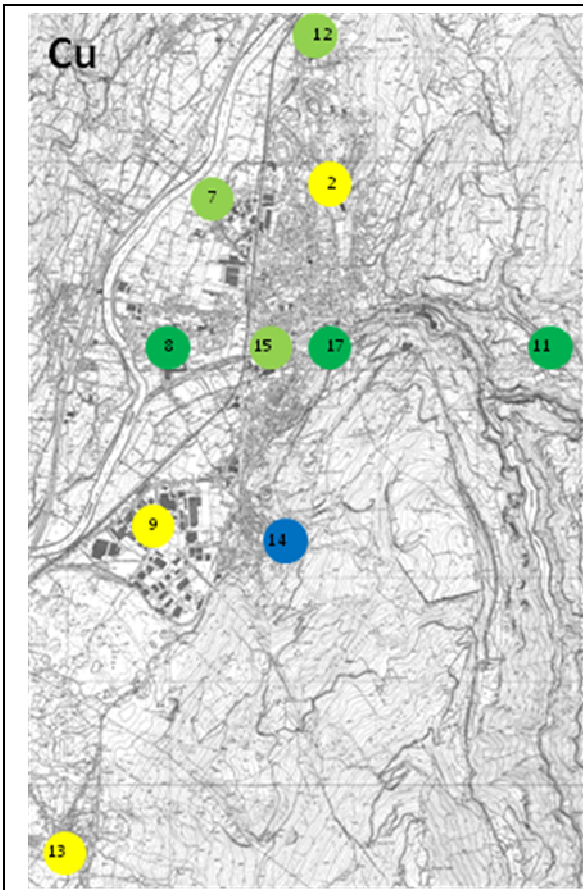
**Tabella 5** – Tabella riassuntiva in cui vengono riportati i valori medi di concentrazione (espressi in µg/g) di ciascun elemento in ciascuna delle 10 stazioni. Ad ogni valore è stato attribuito il colore corrispondente alle classi di naturalità/alterazione della scala di riferimento riportata in Tabella 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).

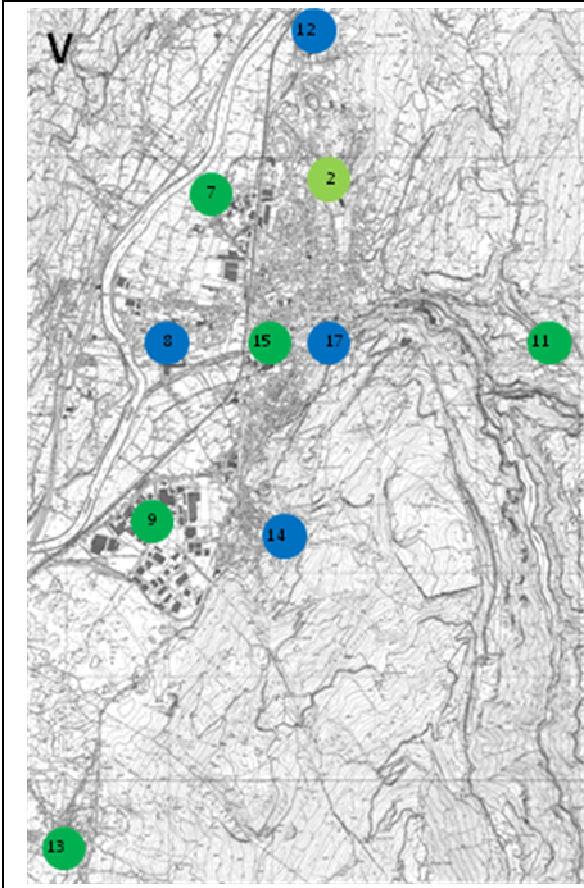
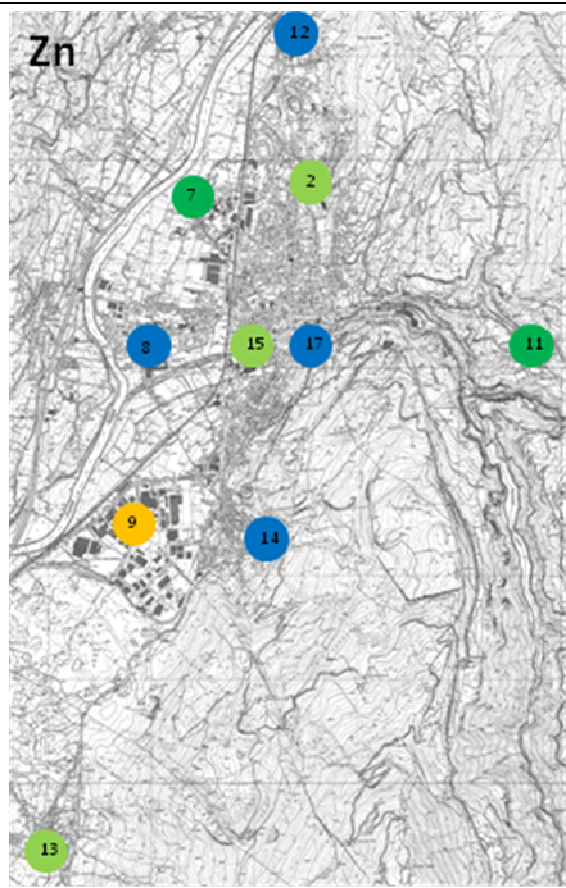
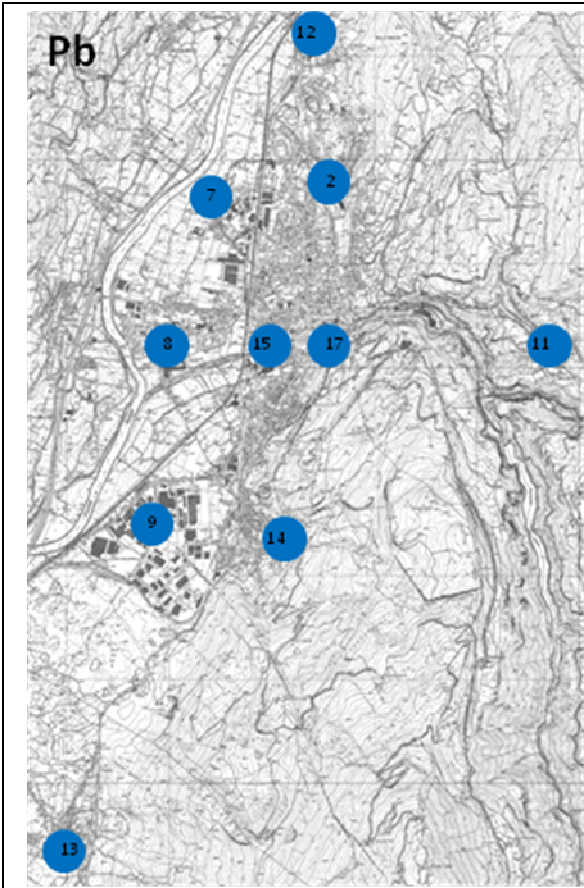
Stazione	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	V	IN	IA	TP
2	1344,89	0,39	0,18	17,47	13,63	1126,41	41,64	7,88	1,89	31,53	2,36	1,81	1,81	4,83
7	692,59	0,21	0,06	8,09	8,01	535,78	19,08	3,64	0,70	25,12	1,08	3,63	0,45	3,62
8	238,48	0,06	0,06	3,10	6,49	197,92	14,47	1,84	0,40	16,61	0,38	8,18	0,00	2,08
9	701,26	0,18	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



**Figura 3** – Mappe tematiche dei livelli di naturalità/alterazione di ciascun elemento nelle 10 stazioni di campionamento. Le classi, i colori e i giudizi ambientali sono quelli riportati in Tabella 3.









## 4. CONCLUSIONI

Questa indagine ha permesso di valutare i valori di concentrazione di 11 elementi in talli lichenici prelevati in 10 stazioni nel territorio del Comune di Rovereto. Tali dati riflettono i pattern di deposizione degli elementi e segnalano eventuali situazioni di potenziale rischio. Nella maggior parte dei siti non si sono riscontrate situazioni critiche. Tuttavia, in alcuni punti del territorio sono presenti condizioni di criticità legate soprattutto al Cr (estremamente dannoso per la salute umana nella sua forma esavalente) e in parte al Ni. Queste situazioni andrebbero valutate in maggior dettaglio posizionando stazioni mobili dotate di strumentazione per il rilevamento chimico-fisico degli inquinanti. Dal punto di vista delle indagini di biomonitoraggio potrebbe essere opportuno verificare con ulteriori campioni le stazioni in cui si sono riscontrati i maggiori livelli di variabilità del dato, soprattutto laddove le oscillazioni possono determinare giudizi ambientali notevolmente diversi. E' inoltre consigliabile programmare un ricampionamento a distanza di tempo (2 anni) per valutare i trend temporali di bioaccumulo.

Un altro aspetto da approfondire, utilizzando la rete di punti individuata con questo studio, riguarda la contaminazione da inquinanti organici derivanti da combustioni legate al traffico automobilistico e al riscaldamento domestico. In particolare, l'attenzione dovrebbe focalizzarsi sugli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), composti notevolmente dannosi per la salute umana (Boström et al., 2002; IARC, 1983). La recente letteratura scientifica dimostra come i licheni epifiti possano essere utilizzati in modo efficace per il biomonitoraggio di questi inquinanti (per esempio si veda lo studio condotto nelle Dolomiti da Nascimbene et al., 2014), con possibilità di comparare le concentrazioni misurate nei talli con i valori soglia previsti dalla normativa (Augusto et al., 2013). E' pertanto auspicabile che la strada intrapresa per dotare il territorio comunale di sistemi integrati di monitoraggio degli inquinanti atmosferici venga proseguita anche in questa direzione.

Infine, l'attività di biomonitoraggio mediante licheni potrebbe essere integrata anche mediante l'approccio della bioindicazione, ovvero valutando distribuzione e trend temporali delle specie licheniche nel territorio comunale. Questo approccio offrirebbe l'opportunità di coinvolgere anche i cittadini nelle attività di biomonitoraggio, come dimostrato dal progetto OPAL (Seed et al., 2013), basato sui concetti della Citizen Science. La messa a punto di una metodologia semplificata, la produzione di adeguati materiali informativi di supporto e incontri di formazione rivolti al pubblico rappresentano in questo caso la base per garantire una buona riuscita dell'attività i cui vantaggi sarebbero duplici: sensibilizzazione della cittadinanza alle tematiche ambientali e raccolta di dati scientificamente validi (si veda ad es. Seed et al., 2013) sulla biodiversità e lo stato dell'ambiente.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- Augusto S., Pereira M.J., Máguas C., Branquinho C., 2013. A step towards the use of biomonitors as estimators of atmospheric PAHs for regulatory purposes. *Chemosphere*, 92: 626–32.
- 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.
- Boström CE, Gerde P, Hanberg A, Jernström B, Johansson C, Kyrklund T, Rannug A, Tornqvist M, Victorin K, Westerholm R., 2002. Cancer risk assessment, indicators, and guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air. *Environ Health Perspect*, 110: 451–488.
- IARC, 1983. Polynuclear Aromatic Compounds, Part 1: Chemical, Environmental and Experimental Data, vol. 32. Lyon, France: International Agency for Research of Cancer.
- 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.
- Nascimbene J., Tretiach M, Corana F, Lo Schiavo F, Kodnik D, Dainese M, Mannucci B. 2014. Patterns of traffic polycyclic aromatic hydrocarbons pollution in mountain areas can be revealed by lichen biomonitoring: a case study in the Dolomites (Eastern Italian Alps). *Science of the Total Environment*, 475: 90-96.
- 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., Scheidegger C., Wolseley P.A. (eds.), 2002: *Monitoring with lichens-Monitoring lichens*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 405 pp.
- 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.
- Seed L., Wolseley P., Gosling L., Davies L., Power S.A., 2013. Modelling relationships between lichen bioindicators, air quality and climate on a national scale: Results from the UK OPAL air survey. *Environmental Pollution*, 182: 437-447.
- Tretiach M., Baruffo L., 2001. Deposizione di metalli nella pedemontana pordenonese. Provincia di Pordenone: 64 pp.