

**Impianto di termovalorizzazione rifiuti di Modena
Autorizzazione Integrata Ambientale**

**Rapporto valutativo sull'indagine ambientale per la rilevazione di
inquinanti atmosferici mediante l'uso di bioaccumulatori effettuata
nell'intorno dell'area dell'impianto
Anno 2019**

Indice

Premessa	3
Verifica del rispetto delle prescrizioni inerenti l'indagine ambientale effettuata mediante l'uso di licheni come bioaccumulatori	3
Valutazione dei dati relativi alle concentrazioni di metalli in atmosfera mediante l'impiego di licheni come bioaccumulatori	5
Metodo di campionamento	5
Punti di campionamento	6
Bioaccumulo - Indagine anno 2019	9
Bioaccumulo Licheni: confronto tra i risultati delle campagne 2009, 2011, 2013, 2015 e 2019	16
Sintesi	24

Premessa

In data 09/03/2020 (prot. Arpae n° PGMO/2020/37717) è pervenuta ad Arpae la relazione sull'attività di biomonitoraggio ambientale relativa all'anno 2019, effettuata da *ECOSFERA Snc* per conto di *HERAmbiente* nell'intorno dell'area dell'impianto di incenerimento sito a Modena in Via Cavazza n° 45, come prescritto nell'autorizzazione AIA.

Il presente contributo valutativo effettuato da Arpae sulla documentazione inoltrata da *HERAmbiente* è finalizzato alla:

- verifica del rispetto delle prescrizioni inerenti il monitoraggio ambientale;
- valutazione dell'insieme di dati raccolti e comparazione con le informazioni ambientali disponibili.

Verifica del rispetto delle prescrizioni inerenti l'indagine ambientale effettuata mediante l'uso di licheni come bioaccumulatori

Il monitoraggio ambientale effettuato mediante l'uso di licheni come bioaccumulatori nelle aree circostanti l'impianto è definito nell'Autorizzazione Integrata Ambientale dell'impianto di termovalorizzazione di Via Cavazza, Modena vigente al momento dell'indagine: DET-AMB-2018-5966 del 16/11/2018.

Nello specifico, il monitoraggio è riportato nel capitolo:

D3.2 - PIANO DI MONITORAGGIO E CONTROLLO AMBIENTALE E SANITARIO

D3.2.1. - Monitoraggio e controllo: aria, suolo, biomonitoraggio

PARAMETRO	Postazioni	MISURA	FREQUENZA		REGISTR AZIONE	REPORT	
			GESTORE	ARPA		GESTORE	ARPA
Bioaccumulo dei metalli e del mercurio su licheni	21 punti	Determinazione quantitativa	Campionamento e analisi ogni 4 anni	Ispezioni programmate ogni 4 anni	Relazione tecnica e rapporti di prova	Ogni 4 anni	Ogni 4 anni

Tabella n. 1: dettaglio relativo al Biomonitoraggio

L'attività di monitoraggio oggetto di questo rapporto valutativo ha avuto inizio il 10 settembre 2019 ed è terminata il 23 dicembre dello stesso anno; è stata effettuata in n.21 postazioni e ha determinato il bioaccumulo su licheni dei seguenti metalli: alluminio, antimonio, arsenico, cadmio, cobalto, cromo, manganese, mercurio, nichel, piombo, rame, tallio, vanadio.

Nell'anno 2019 l'impianto è stato fermato dal 31 agosto al 2 ottobre 2019 per le programmate operazioni di manutenzione.

Il precedente studio di bioaccumulo è stato effettuato nel 2015.

Lo studio effettuato dal gestore dell'impianto rispetta sia la frequenza che la tipologia di monitoraggio richieste dalla prescrizione in oggetto.

Valutazione dei dati relativi alle concentrazioni di metalli in atmosfera mediante l'impiego di licheni come bioaccumulatori

Nel periodo intercorrente fra l'esecuzione dello studio effettuato dal gestore (2019) e la valutazione oggetto del presente documento, sono state emanate specifiche Linee Guida ISPRA/SNPA per l'utilizzo dei licheni come bioaccumulatori (Manuale ISPRA/SNPA 189/2019), pertanto le valutazioni qui esposte tengono in considerazione anche queste ultime linee guida, sebbene solo a livello indicativo, non essendo disponibili al momento dell'effettuazione dello studio.

In particolare, lo studio risulta già coerente con quanto riportato nelle Linee Guida a proposito dell'utilizzo dei licheni come bioaccumulatori collegati anche alle concentrazioni atmosferiche degli inquinanti:

"Il monitoraggio biologico si è dimostrato utile nella valutazione dell'inquinamento atmosferico da elementi in traccia¹: in particolare, l'uso di licheni per la valutazione dei livelli atmosferici e dei pattern di deposizione di elementi in traccia è ben consolidato². I tentativi di correlare gli elementi accumulati dai licheni con le concentrazioni atmosferiche hanno suggerito che i licheni riflettono principalmente deposizioni secche e umide³. Tuttavia, alcuni studi hanno indicato che i licheni accumulano preferenzialmente elementi contenuti nel particolato⁴. Recentemente, per diversi motivi l'uso di trapianti di licheni è stato generalmente preferito rispetto all'uso di licheni nativi. Innanzitutto, nel caso dei trapianti, il piano di campionamento può essere impostato e realizzato correttamente senza i vincoli di trovare alberi adatti colonizzati da licheni e, soprattutto, di trovare campioni di licheni autoctoni, possibilmente della stessa specie in tutti i siti di monitoraggio, in aree fortemente inquinate, dove i licheni possono essere molto rari o addirittura assenti ("deserto lichenico"). In secondo luogo, nel caso dei trapianti il tempo di esposizione del lichene è noto e non è necessario utilizzare stime di crescita annuale per determinare il tempo in cui il materiale è stato esposto a potenziali deposizioni inquinanti⁵. In terzo luogo, l'interpretazione dei risultati di esposizioni di trapianti può essere basata sulla conoscenza dei valori di concentrazione misurati in campioni esposti e non esposti. Esprimere i risultati come EU ratio (Exposed-to-Unexposed ratio) consente confronti spaziali e temporali, indipendentemente dalle differenze nelle concentrazioni iniziali di campioni non esposti⁶. Inoltre, consente di indagare la capacità di accumulo di diverse specie nelle stesse condizioni⁷".

Metodo di campionamento

Il gestore utilizza il metodo che prevede l'uso di trapianti di licheni attraverso il metodo di campionamento con "Lichen bags", secondo il protocollo proposto dall'ANPA relativo all'impiego di espianti muscinali⁸, con una variante riferita al periodo di esposizione che, utilizzando licheni invece di muschi, può essere più versatile, potendo estendersi da un minimo di 30 gg ad un massimo di 12 mesi. Altra differenza riguarda le

¹ Manning & Feder, 1980

² Bačkor e Loppi, 2009

³ Pilegaard, 1979; Sloof, 1995; Godihno et al., 2008; Loppi & Paoli, 2015

⁴ Glenn et al., 1991; Bari et al., 2001; Costa et al., 2002

⁵ Fortuna & Tretiach, 2018

⁶ Frati et al., 2005; Cecconi et al., 2019a; Loppi et al., 2019

⁷ Bergamaschi et al., 2007

⁸ "Moss Bags", M. Castello et al., 1999

tecniche microanalitiche di laboratorio (pre-trattamento del campione) e gli standard certificati che devono fare riferimento a quanto previsto dalle indicazioni metodologiche dell'ANPA valide per i licheni indigeni⁹.

In sintesi, si tratta di una tecnica che consiste nel prelevare da un'area non contaminata o poco contaminata alcuni talli (esemplari) di una sola specie e nel trapiantarli in un numero opportuno di stazioni nel territorio di studio.

Tale metodica viene ripresa, con alcune variazioni, anche nel recente Manuale ISPRA/SNPA.

I campioni vengono preventivamente analizzati per determinare le concentrazioni degli elementi in tracce già presenti (che verranno utilizzate come riferimento) e successivamente introdotti in contenitori in rete di nylon (Lichen bags). Le condizioni di esposizione dei campioni devono essere il più possibile omogenee, tali cioè da ridurre al minimo le influenze microambientali. I licheni devono pertanto essere ben esposti all'aria, ad un'altezza tale da non essere direttamente influenzati dal terreno sottostante (circa 3 m di altezza) e sufficientemente lontani da fonti di emissione diverse da quella che si vuole studiare. Il tempo di esposizione può variare in funzione della/e fonte/i di emissione che si intendono monitorare e dello stato di salute dei talli lichenici, che deve essere periodicamente verificato.

Come per le precedenti campagne di monitoraggio 2009, 2011 2013, 2015, sono stati utilizzati talli del lichene "Pseudevernia furfuracea", ampiamente impiegato per questo tipo di indagini sul territorio nazionale, indicato anche nelle "Linee guida per l'utilizzo dei licheni come bioaccumulatori" n. 189/2019 di ISPRA Allegato B Consigli per l'identificazione delle specie licheniche idonee.

Punti di campionamento

I punti oggetto dell'indagine sono 21, in massima parte inseriti nel territorio comunale di Modena; la loro individuazione risale alla prima indagine del 1994 e la loro collocazione è stata mantenuta inalterata negli anni.

L'attività di biomonitoraggio nell'intorno del termovalorizzatore ha avuto inizio nel 1994 ed è stata poi ripetuta nel 1997, nel 2002 e nel 2007, secondo quanto previsto dalle allora vigenti autorizzazioni. Nelle successive indagini - 2009, 2011 2013, 2015 e 2019 - a seguito della procedura di VIA e del rilascio della prima AIA, sono state riviste ed integrate le tecniche di campionamento e le aree di indagine. Per tale ragione l'analisi delle serie storiche di dati si riferisce a questi ultimi anni di monitoraggio.

Le aree di campionamento sono riportate nella Tabella n.2 e nella relativa Figura n.2, che indicano in dettaglio i punti di monitoraggio dove sono stati esposti i Lichen Bags e la loro corrispondenza con le Unità di campionamento primarie (UCP) e le Unità di campionamento secondarie (UCS).

Si ricorda che secondo quanto previsto dal metodo ANPA, le UCP sono rappresentate da aree di forma quadrata di dimensioni di 1 x 1 km, che a loro volta sono state poi ulteriormente suddivise in unità di campionamento secondarie (UCS), costituite da cerchi con raggio di 125 m, numerate secondo uno schema preciso, partendo dal centro della UCP stessa. Lo scopo di questa suddivisione è quello di assicurare l'uniformità di selezione e l'omogeneità della distribuzione del campione.

⁹ Nimis & Bargagli, 1999

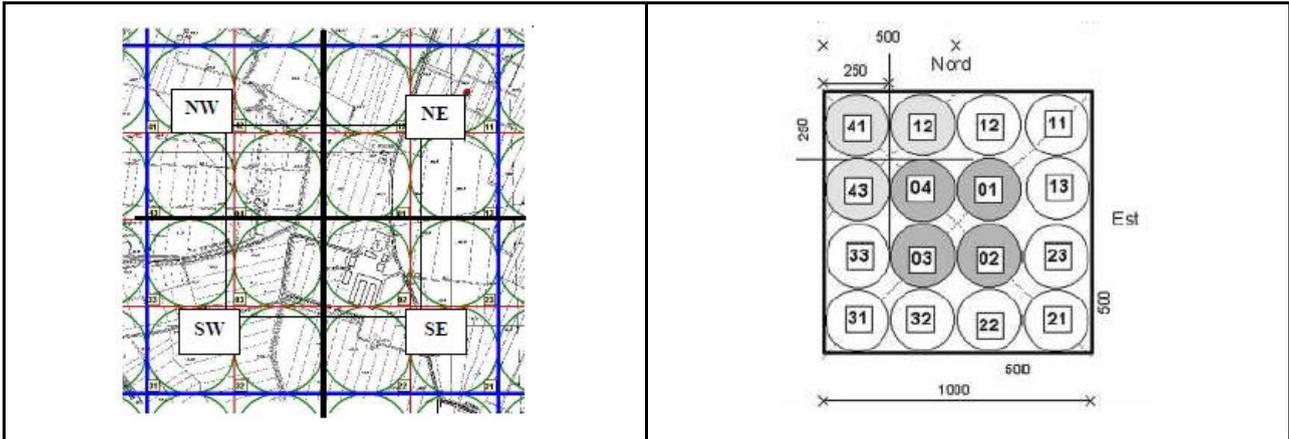


Figura n.1: Unità di campionamento primarie (UCP) in blu e Unità di campionamento secondarie (UCS) in verde

UCP	Descrizione	UCS	Punti di monitoraggio utilizzati per esposizione dei Lichen Bags		
			UTM X	UTM Y	Descrizione del punto di monitoraggio
1	Bollitore	02	655303	949981	Strada Torricella, Presso incrocio con Strada Albareto, Parte opposta rispetto a Case Bisbini
2	Bastiglia-San Clemente	22	658351	954696	Bastiglia S, Clemente, a bordo di Via Matteotti, pochi metri oltre il giardino pubblico
3	Bomporto	33	661705	954791	Bomporto, Piazzale Donatori di Sangue
4	Ravarino	32	666063	954737	Ravarino, Area a prato su parcheggio dell'azienda "Zuffi Mobili", Via Galvani,
5	Luoghetto	04	656058	949129	Stradello Toni, nei pressi del numero civico 103, lungo la pista ciclabile,
6	Cavo Argine	13	656574	948134	Modena, Parco Torrazzi, Strada sterrata parallela a Via E. Caruso che conduce verso la discarica
7	Navicello	02	657253	948012	Modena, Via Nonantolana, presso centro "Fauna Selvatica il Pettiroso"
8	Viazza	23	658565	945868	Modena, Castelfranco Emilia, Strada Rampa n,3, nei pressi di Cascina Nuova
9	Paganina Magelli	22	657260	940658	Modena, Via dei Giacinti, Grande giardino pubblico di fronte a chiesa
10	Gherbella Fossalta	02	657249	942903	Via Aguzzoli, traversa senza uscita di Via Scartazza
11	Gherbella S.Damaso	04	654988	941047	Tra strada Gherbella e Strada Baccelliera, Al termine della strada sterrata, di fronte alla cascina,
12	Modena Est Emilia	01	654311	945057	Modena, Giardini pubblici di via Burchi
13	Hesperia	23	653472	942984	Modena, Via Magenta/Via Alassio, Parco pubblico dietro Palestra Scuola Rodari
14	Centro città	01	653306	946053	Modena, Giardino Ducale Estense, Ingresso da Corso Canal Grande,
15	Modena Ferrovia	12	652309	946418	Modena, Area verde davanti alle scuole di Piazza Cittadella
16	Sagittario	01	650379	944044	Modena, Parco del Sagittario, Via del Sagittario/Via delle Costellazioni
17	San Giacomo	04	653132	949129	Modena, Stradella Alzaia, a NW di Via Canaletto Centro, numeri civici 7 e 13
18	San Pancrazio	01	651314	950067	Villanova, Via S, Onofrio 301, Giardino di Azienda Agricola Podere Ca' Nuova,
19	San Matteo	43	653896	950034	Modena, Alla fine senza uscita di Via delle Nazioni
20	Depuratore Nord	02	654277	948773	Modena, Via Cavazza 45, in parcheggio inceneritore
21	Depuratore Sud	01	654324	948125	Modena, Stradello Mulini Nuovi, laterale ad Ovest di Via Albareto

Tabella n. 2: Punti di monitoraggio utilizzati per esposizione dei Lichen Bags

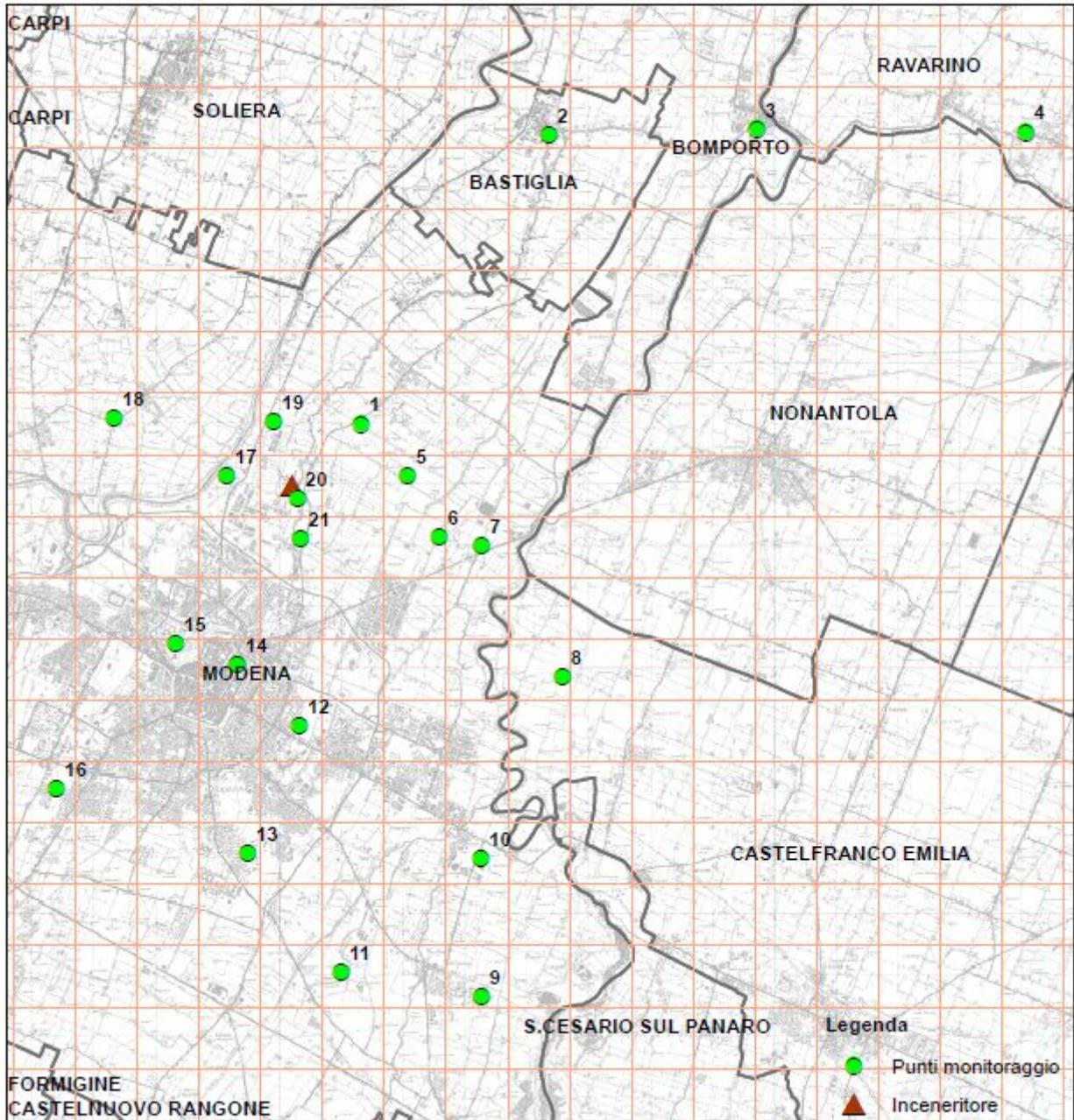


Fig. n. 2: Punti di monitoraggio utilizzati per esposizione dei Lichen Bags

Bioaccumulo - Indagine anno 2019

I licheni sono stati raccolti in un sito alpino il 6 settembre ed esposti nell'area di studio il 10 e 11 settembre 2019.

Per una corretta valutazione del livello di contaminazione iniziale dei licheni prima dell'esposizione, sono stati analizzati otto campioni di bianco; i risultati sono riassunti nella Tabella 3, mentre nella Tabella 4 sono confrontati i valori del 2019 con quelli delle indagini precedenti.

METALLI	Bianco1 mg/Kg	Bianco2 mg/Kg	Bianco3 mg/Kg	Bianco4 mg/Kg	Bianco5 mg/Kg	Bianco6 mg/Kg	Bianco7 mg/Kg	Bianco8 mg/Kg	Media mg/Kg	Dev.St. +/-
Alluminio	660	570	640	484	530	460	630	640	577	77.7
Antimonio	0.12	0.102	0.125	0.088	0.101	0.093	0.122	0.126	0.11	0.02
Arsenico	0.247	0.226	0.265	0.165	0.207	0.177	0.246	0.24	0.22	0.04
Cadmio	0.198	0.153	0.167	0.18	0.195	0.233	0.176	0.225	0.19	0.03
Cobalto	0,189	0,159	0,177	0,156	0,157	0,133	0,185	0,178	0,17	0,02
Cromo	1.79	1.43	1.76	1.23	1.46	1.38	1.63	1.77	1.56	0.21
Manganese	63	42.9	55	69	68	55	64	66	60.4	8.84
Mercurio	0.176	0.253	0.134	0.132	0.131	0.298	0.162	0.171	0.17	0.04
Nichel	1.41	1.17	1.27	1.09	1.27	1.24	1.21	1.34	1.25	0.10
Piombo	6.9	4.9	5.7	5.6	7	7.4	6.8	7.2	6.44	0.91
Rame	4.2	4.03	4.37	3.76	3.84	3.51	4.57	4.6	4.11	0.39
Tallio	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce	tracce	0.0128	tracce	-	-
Vanadio	1.68	1.35	1.6	1.19	1.29	1.11	1.58	1.53	1.42	0.21

Tabella n. 3: risultati delle analisi chimiche effettuate sui campioni di bianco

Se si analizzano i risultati dei campioni di bianco, si nota che le concentrazioni di alluminio - e in maniera meno evidente anche di manganese - appaiono diversificate. I dati di Al variano da un minimo di 460 mg/Kg a un massimo di 660 mg/Kg, con una deviazione standard pari a 77.7; per il Mn, il minimo è risultato di 42.9 mg/Kg e il massimo di 69 mg/Kg, con una deviazione standard pari a 8.84.

Questa variabilità evidenzia per i metalli Alluminio e Manganese una discreta disomogeneità nel tempo dei valori di contaminazione iniziale dei licheni prima dell'esposizione.

Metalli	Bianco anno 2009 (mg/Kg)	Bianco anno 2011 (mg/Kg)	Bianco anno 2013 (mg/Kg)	Bianco anno 2015 (mg/Kg)	Bianco anno 2019 (mg/Kg)	Background nazionale ^{10 11} (mg/Kg)
Alluminio	506	696,6	786,63	808,2	577	<700
Antimonio	0,5	<0,5	<0,5	0,3	0,11	0,2
Arsenico	0,23	0,21	0,19	0,5	0,22	0,1-0,5
Cadmio	0,21	0,3	0,06	0,20	0,19	0,1-0,2
Cobalto	0,2	<0,2	<0,2	0,2	0,17	-
Cromo	0,9	1,7	1,35	2,0	1,56	1,6-3,4
Manganese	39,8	48,5	51,01	61,6	60,4	30-50
Mercurio	0,32	0,2	0,3	0,27	0,17	0,1-0,3
Nichel	1,1	1,0	0,61	1,6	1,25	1-2
Piombo	7	1,3	4,75	6,8	6,44	4-7
Rame	4,3	5,1	5,29	22,6	4,11	2,5-6,5
Tallio	0,5	<0,5	<0,50	0,5	tracce	-
Vanadio	1,5	1,8	1,75	1,8	1,42	1-2

Tabella n. 4: Risultati dell'analisi di campioni di bianco a confronto con i valori di background nazionale

Riguardo ai bianchi del 2019, la quasi totalità dei valori dei metalli trovati negli 8 campioni di bianco è ricompresa all'interno dei range che identificano le concentrazioni presenti nelle aree di background a livello nazionale, ad esclusione del manganese che risulta lievemente più alto.

Dopo l'esposizione in aria ambiente per un periodo di 105 giorni (i campioni sono stati posizionati il 10 settembre e raccolti il 23 dicembre 2019) e dopo una accurata pulizia, i licheni sono stati analizzati dal *Laboratorio Chelab S.R.L.* che ha provveduto all'analisi dei campioni secondo le procedure standard previste dalla metodica ANPA 2/2001. In coerenza con quanto effettuato negli studi precedenti e con quanto determinato nelle emissioni a camino, sono stati ricercati i seguenti metalli: alluminio, antimonio, arsenico, cadmio, cobalto, cromo, mercurio, manganese, nichel, piombo, rame, vanadio, tallio.

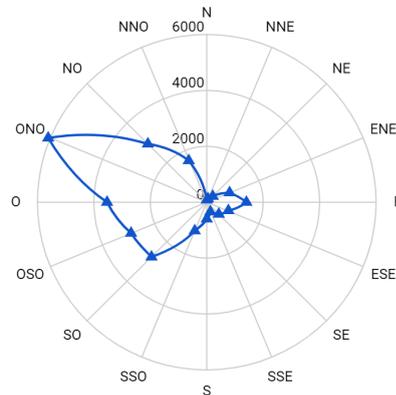
Il gestore dell'impianto durante il periodo di esposizione ha valutato le condizioni meteorologiche, analizzando i dati della stazione meteo urbana di Arpae situata in Via Santi 40 a Modena.

Si riporta quanto ottenuto dall'analisi; è da segnalare che le precipitazioni totali del periodo sono state pari a 304 mm, molto superiori rispetto ai valori tipici del periodo, con due picchi di intensità assai consistente: tra il 15 e il 17 novembre sono caduti 114,6 mm di pioggia e il 22 dicembre sono caduti in poche ore 30 mm di pioggia. Si riporta nel seguito la rosa dei venti costruita sui dati del periodo di esposizione, 10 settembre - 23 dicembre 2019.

¹⁰ Background element concentrations of the epiphytic lichen *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf in Italy, Cecconi, Eva 2016

¹¹ Contenuto elementare nei talli del lichene epifita *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf raccolti in aree remote d'Italia Capozzi, Fiore; Cecconi, Elva; Adamo, Paola; Bargagli, Roberto; Benesperi, Renato; Bidussi, Massimo; Candotto Carniel, Fabio; Craighero, Teresa; Cristofolini, Fabiana; Giordano, Simonetta; Panepinto, Francesco; Puntillo, Domenico; Ravera, Sonia; Spagnuolo, Valeria; Tretiach, Mauro - Anno 2015

La direzione dei venti nel periodo di monitoraggio presenta una prevalenza dai quadranti compresi tra Nord-Ovest e Sud-Ovest.



Si riporta di seguito il risultato delle analisi effettuate sui campioni di licheni dopo l'esposizione in aria ambiente di 105 giorni, a confronto con la media dei campioni di bianco (tabella 5). Con lo sfondo grigio si evidenziano per ciascun metallo i valori minimi, massimi, la media e la deviazione standard a confronto con i dati del background naturale.

Punti monitoraggio		Concentrazioni mg/Kg												
		Al	Sb	As	Cd	Co	Cr	Mn	Hg	Ni	Pb	Cu	Tl	V
UCP	Bianco	577	0,11	0,22	0,19	0,17	1,56	60	0,17	1,25	6,4	4,11	0,0128	1,42
1	Bollitore	1010	0,31	0,34	0,20	0,31	4,48	91	0,12	2,00	7,1	11,4	0,020	2,25
2	Bastiglia	980	0,29	0,33	0,37	0,30	3,64	76	0,14	2,02	7,2	7,7	0,016	2,19
3	Bomporto	960	0,23	0,31	0,17	0,32	3,84	77	0,11	2,16	5,4	7,2	0,021	2,15
4	Ravarino	830	0,26	0,30	0,22	0,28	3,43	92	0,11	2,04	6,0	7,1	0,017	1,84
5	Luoghetto	1190	0,41	0,43	0,23	0,36	6,60	83	0,24	2,27	8,3	25,7	0,030	2,47
6	Cavo Argine	780	0,29	0,28	0,23	0,23	3,24	61	0,26	1,70	7,1	7,4	0,018	1,76
7	Navicello	820	0,25	0,30	0,16	0,23	2,86	66	0,26	1,53	6,3	7,7	0,019	1,84
8	Viazza	1170	0,34	0,41	0,20	0,36	4,20	118	0,21	2,29	7,0	9,7	0,025	2,43
9	Paganini	830	0,23	0,34	0,21	0,25	2,93	74	0,25	1,72	7,4	6,8	0,016	1,93
10	Fossalta	890	0,2	0,32	0,23	0,26	2,80	83	0,21	1,83	6,1	6,6	0,019	1,92
11	S.Damaso	670	0,23	0,23	0,23	0,24	3,15	62	0,19	1,62	8,2	6,2	0,017	1,51
12	Modena Est	990	0,25	0,31	0,19	0,27	3,88	50	0,12	1,9	6,00	7,3	0,016	2,31
13	Hesperia	690	0,28	0,22	0,20	0,26	3,53	86	0,18	1,76	6,4	7,3	0,015	1,43
14	Centro	870	0,23	0,30	0,13	0,24	2,84	50	0,19	1,65	4,4	7,1	0,014	2,02
15	Modena Ferrovia	1000	0,3	0,40	0,16	0,32	3,64	97	0,22	2,16	4,5	9,2	0,020	2,21
16	Sagittario	620	0,21	0,24	0,20	0,22	3,20	71	0,20	1,58	6,5	8,0	0,014	1,49
17	S.Giacomo	910	0,35	0,32	0,20	0,30	3,73	80	0,19	1,84	6,9	9,8	0,016	2,08
18	S. Pancrazio	1150	0,26	0,36	0,20	0,31	3,44	69	0,18	1,82	6,0	8,0	0,027	2,5
19	S. Matteo	830	0,39	0,30	0,17	0,26	3,22	88	0,11	1,76	5,5	8,3	0,016	1,8
20	Depurat. Nord	840	0,27	0,29	0,13	0,26	3,10	51	0,20	1,72	5,2	8,2	0,022	1,99
21	Depurat. Sud	710	0,28	0,28	0,25	0,22	2,53	65	0,18	1,62	8,0	7,1	0,016	1,63
	Min	620	0,20	0,22	0,13	0,22	2,53	50	0,11	1,53	4,4	6,2	0,014	1,43
	Max	1190	0,41	0,43	0,37	0,36	6,60	118	0,26	2,29	8,3	25,7	0,030	2,50
	Media	892	0,28	0,31	0,20	0,28	3,54	76	0,18	1,86	6,4	8,8	0,019	1,99
	Dev std	160	0,06	0,05	0,05	0,04	0,85	17	0,05	0,23	1,1	4,1	0,004	0,32
	Background nat	<700	0,2	<0,5	<0,2	-	<3,4	<50	<0,3	<2	<7	<6,5	-	<2

Tabella n. 5: risultati dei campioni di licheni dopo l'esposizione

Gli unici elementi che presentano concentrazioni medie nell'area di indagine più elevate rispetto ai valori di background naturale su scala nazionale sono Al, Mn, Sb, Cu (rispettivamente 27,5%, 51,4%, 39,5%, 34,0%) se paragonati al limite superiore del loro background naturale.

Visti i livelli molto variabili riscontrati per Al e Mn negli 8 campioni di bianco, per questi elementi il dato del campione arricchito dopo l'esposizione è di difficile valutazione.

Calcolo dei fattori di accumulo (F.A.)

Nella presente indagine il gestore adotta l'approccio basato sul Pollution index factor (PIF)¹² che si ottiene dividendo la concentrazione dell'elemento determinata nel campione al termine del periodo di monitoraggio per la corrisponde concentrazione media di pre-esposizione determinata nei licheni raccolti in località non contaminata.

Tale modalità trova un parallelismo anche nel Manuale ISPRA/SNPA che prevede l'utilizzo di 'scale di bioaccumulo' indipendenti dalle specie, che si basano sul concetto che *'l'inquinamento può essere quantificato da rapporti adimensionali tra valori sperimentali e di riferimento (Cecconi et al., 2019).'*

I dati ottenuti sono stati confrontati con una scala che interpreta le diverse classi (Grade) in termini di 'intensità di alterazione', ossia di deviazioni percentualmente crescenti da condizioni indisturbate (pre-esposizione). La scala di fattori di arricchimento utilizzata (F.A. tabella 7) è un ampliamento di quella definita da Boamponsem (tabella 6).

PIF	Grade	Intensity
<1.2	I	Unpolluted area
1.2-2	II	Light-polluted area
2-3	III	Medium polluted area
>3	IV	Heavily polluted area

Tabella n. 6 Scala di interpretazione dei dati di bioaccumulo tratta da L.K. Boamponsem et al. (2010)

F.A.	CLASSE	ALTERAZIONE
<1,2	I	Naturalità
1,2-1,5	II	Alterazione lieve
1,5-2	III	Alterazione bassa
2-3	IV	Alterazione media
3-4	V	Alterazione alta
>4	VI	Alterazione molto alta

Tabella n.7 Intervalli di F.A. e rispettive classi e livelli di alterazione.

¹² L.K. Boamponsem et al. (2010)

Nella tabella 8 sottostante sono riportati i valori di F.A. per ciascun campione e per ciascun metallo.

La scala cromatica azzurro-verde indica campioni con alterazione bassa o nulla, mentre i colori giallo- rosso indicano alterazioni da media a molto alta.

UCP	Punti	Al	Sb	As	Cd	Co	Cr	Mn	Hg	Ni	Pb	Cu	Tl	V	Media FA
1	Bollitore	1,8	2,8	1,5	1,1	1,8	2,9	1,5	0,7	1,6	1,1	2,8	1,6	1,6	1,7
2	Bastiglia	1,7	2,6	1,5	1,9	1,8	2,3	1,3	0,8	1,6	1,1	1,9	1,3	1,5	1,6
3	Bomporto	1,7	2,1	1,4	0,9	1,9	2,5	1,3	0,6	1,7	0,8	1,8	1,6	1,5	1,5
4	Ravarino	1,4	2,4	1,4	1,2	1,6	2,2	1,5	0,6	1,6	0,9	1,7	1,3	1,3	1,5
5	Luoghetto	2,1	3,7	2,0	1,2	2,1	4,2	1,4	1,4	1,8	1,3	6,3	2,3	1,7	2,4
6	Cavo Argine	1,4	2,6	1,3	1,2	1,4	2,1	1,0	1,5	1,4	1,1	1,8	1,4	1,2	1,5
7	Navicello	1,4	2,3	1,4	0,8	1,4	1,8	1,1	1,5	1,2	1,0	1,9	1,5	1,3	1,4
8	Viazza	2,0	3,1	1,9	1,1	2,1	2,7	2,0	1,2	1,8	1,1	2,4	2,0	1,7	1,9
9	Paganini	1,4	2,1	1,5	1,1	1,5	1,9	1,2	1,5	1,4	1,1	1,7	1,3	1,4	1,5
10	Fossalta	1,5	1,8	1,5	1,2	1,5	1,8	1,4	1,2	1,5	0,9	1,6	1,5	1,4	1,4
11	S.Damaso	1,2	2,1	1,0	1,2	1,4	2,0	1,0	1,1	1,3	1,3	1,5	1,3	1,1	1,4
12	Modena Est	1,7	2,3	1,4	1,0	1,6	2,5	0,8	0,7	1,5	0,9	1,8	1,3	1,6	1,5
13	Hesperia	1,2	2,5	1,0	1,1	1,5	2,3	1,4	1,1	1,4	1,0	1,8	1,2	1,0	1,4
14	Centro	1,5	2,1	1,4	0,7	1,4	1,8	0,8	1,1	1,3	0,7	1,7	1,1	1,4	1,3
15	Modena Ferrovia	1,7	2,7	1,8	0,8	1,9	2,3	1,6	1,3	1,7	0,7	2,2	1,6	1,6	1,7
16	Sagittario	1,1	1,9	1,1	1,1	1,3	2,1	1,2	1,2	1,3	1,0	1,9	1,1	1,0	1,3
17	S.Giacomo	1,6	3,2	1,5	1,1	1,8	2,4	1,3	1,1	1,5	1,1	2,4	1,3	1,5	1,7
18	San Pancrazio	2,0	2,4	1,6	1,1	1,8	2,2	1,1	1,1	1,5	0,9	1,9	2,1	1,8	1,7
19	San Matteo	1,4	3,5	1,4	0,9	1,5	2,1	1,5	0,6	1,4	0,9	2,0	1,3	1,3	1,5
20	Depurat. Nord	1,5	2,5	1,3	0,7	1,5	2,0	0,8	1,2	1,4	0,8	2,0	1,7	1,4	1,4
21	Depurat. Sud	1,2	2,5	1,3	1,3	1,3	1,6	1,1	1,1	1,3	1,2	1,7	1,3	1,1	1,4
Min		1,1	1,8	1,0	0,7	1,3	1,6	0,8	0,6	1,2	0,7	1,5	1,1	1,0	
Max		2,1	3,7	2,0	1,9	2,1	4,2	2,0	1,5	1,8	1,3	6,3	2,3	1,8	
Media		1,5	2,5	1,4	1,1	1,6	2,3	1,3	1,1	1,5	1,0	2,1	1,5	1,4	
Dev standard		0,3	0,5	0,2	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2	1,0	0,3	0,2	

Tabella n.8 Risultati dei campioni di licheni dopo l'esposizione attraverso la scala interpretativa (tabella 7)

Nell'interpretazione dei dati, si deve innanzitutto tener conto che questi non derivano direttamente da una misura strumentale su una matrice ambientale quale aria, acqua o suolo, ma dipendono dalla quantità di inquinante che un organismo vivente (lichene) intercetta e accumula al suo interno durante il tempo di esposizione. Tale fenomeno risulta ovviamente influenzato da numerosi fattori sia esterni (microclimatici, sostanze che possono concorrere al bioaccumulo, forma fisica dell'inquinante), che interni all'organismo stesso (tipo di organismo e condizioni di salute).

Inoltre, l'appartenenza ad una determinata classe di alterazione, così come definita, dipende dalla concentrazione del metallo nel campione di bianco e quindi dal limite di rilevabilità del metodo analitico adottato in rapporto ai valori medi misurati: tanto più questo limite è basso, tanto maggiore sarà il fattore di

arricchimento a parità di concentrazione finale nel lichene esposto.

Per tale ragione, alti fattori di arricchimento non sempre corrispondono a concentrazioni elevate dopo l'esposizione.

In via generale, considerando la distribuzione dell'arricchimento di ciascun elemento bioaccumulato, si può osservare come per la maggior parte degli elementi la classe di alterazione si attesta fra la naturalità e una bassa alterazione; fanno eccezione antimonio, cromo e rame che evidenziano in diversi siti indici di alterazione 'media'. Vi è inoltre il sito di campionamento n.5 'Lughetto' che presenta per Cr e Cu indici di alterazione 'molto alta'. Tali dati tuttavia non evidenziano un nesso di causalità con le emissioni dell'impianto di termovalorizzazione, poichè per questi due elementi - la cui presenza nell'aria vede il contributo di numerose fonti antropiche - i dati misurati a camino mostrano concentrazioni molto contenute durante il periodo di esposizione lichenica.

Complessivamente la media dei valori di arricchimento di ciascun sito si posiziona tra alterazione 'lieve' e alterazione 'bassa' ad eccezione del sito di campionamento n.5 Luoghetto che presenta alterazione 'media'.

A seguire si riporta un approfondimento su antimonio, cromo e rame.

Antimonio: il valore di background nei talli lichenici in Italia è inferiore a 0,2 mg/Kg.

Nell'area di studio la concentrazione media riscontrata è di 0,28 mg/Kg, la massima è di 0,41 mg/Kg ed è stata riscontrata nella UCP 5, posta nel settore nord-orientale dell'area di studio, che fa registrare le massime concentrazioni anche per Al, Cr, Cu, Co, Pb, Tl e As.

Per questo elemento n.2 campioni presentano alterazione 'bassa' (10% dei campioni totali), 15 campioni alterazione 'media' (71%), e 4 campioni alterazione 'alta' (19%).

Volendo mettere a confronto i dati rilevati con le emissioni dell'impianto di termovalorizzazione, si osserva che - escludendo UCP 10 che presenta un arricchimento di 1,86 e UCP 10 di 1,91 - gli altri 19 campioni presentano tutti arricchimenti compresi tra 2,1 e 3,75, a prescindere dalla distanza dall'impianto di termovalorizzazione e dall'orientamento rispetto a quest'ultimo. In particolare i campioni appartenenti alle UCP 2, 3, 4, situati a nord ad una distanza tra 7 e i 14 Km dall'inceneritore, presentano tutti arricchimenti molto simili, compresi tra 2,16 e 2,64, determinando una situazione abbastanza omogenea a prescindere dalle emissioni dell'impianto oggetto del controllo.

A ciò si aggiunge che le concentrazioni di antimonio misurate al camino dell'inceneritore nei periodi di monitoraggio evidenziano sempre concentrazioni inferiori al limite di rilevabilità, pari a 0,0002 mg/Nm³.

Cromo: il valore di background nazionale nei talli lichenici in Italia è inferiore a 3,4 mg/Kg.

Nell'area di studio è stato misurato un valore medio di 3,54 mg/Kg, un valore massimo di 6,60 mg/Kg e minimo di 2,53 mg/Kg.

Per questo elemento n.6 campioni presentano alterazione 'bassa' (28% dei campioni totali), 14 alterazione 'media' (67%) e 1 campione alterazione 'molto alta' 5%.

Il campione che presenta la massima concentrazione di Cr è situato nella UCP 5, che presenta anche il massimo valore di concentrazioni per Al, Co, Cu, As, Pb, Tl e Sb e che rientra nella fascia di alterazione 'molto alta'.

Volendo mettere a confronto i dati rilevati con le emissioni dell'impianto di termovalorizzazione, si osserva che n.15 campioni hanno arricchimenti compresi tra 2,0 e 2,9 a prescindere dalla distanza dall'impianto. In

particolare i campioni appartenenti alle UCP 2, 3, 4, situati a nord ad una distanza tra 7 e 14 Km dall'inceneritore, presentano tutti arricchimenti molto simili, compresi tra 2,2 e 2,5 determinando una situazione abbastanza omogenea a prescindere dalle emissioni dell'impianto oggetto del controllo.

Inoltre i valori misurati al camino dell'inceneritore nei periodi di monitoraggio evidenziano concentrazioni molto contenute, mediamente di 0,00086 mg/Nm³.

Rame: il valore di background nei talli lichenici in Italia è inferiore a 6,5 mg/Kg.

Nell'area di studio la concentrazione media trovata risulta di 8,8 mg/Kg; il valore massimo è di 25,7 mg/Kg, rilevato nella UCP 5, stazione che fa rilevare anche il valore massimo per Al, Cr, Pb, As, Tl, Co e Sb e che ricade nella fascia di alterazione molto alta. Il dato più basso si è riscontrato nella UCP 11 ed è stato pari a 6,2 mg/Kg.

Volendo mettere a confronto i dati rilevati con le emissioni dell'impianto di termovalorizzazione, si osserva che n.14 campioni presentano alterazione 'bassa' (67% dei campioni totali), n.6 alterazione 'media' (28%) e 1 campione , alterazione 'molto alta' (5%).

Per questo elemento bisogna tenere in considerazione la possibilità del contributo dovuto alle elevate concentrazioni di questo metallo presenti nel terreno. Infatti in base ad uno studio regionale i suoli della Provincia di Modena risultano caratterizzati - per il 27% dei campioni analizzati sull'intera area di area di pianura - da concentrazioni di rame superiori a 100 mg/Kg. Da studi bibliografici risulta che la maggiore presenza di rame nel territorio modenese è prevalentemente correlabile alle pratiche agronomiche.

Volendo mettere a confronto i dati rilevati con le emissioni dell'impianto di termovalorizzazione, si osserva che i dati misurati a camino dell'inceneritore nei periodi di monitoraggio evidenziano concentrazioni molto contenute, mediamente di 0,00110 mg/Nm³.

Bioaccumulo Licheni: confronto tra i risultati delle campagne 2009, 2011, 2013, 2015 e 2019

Nelle tabelle seguenti sono riportate per ciascun metallo le concentrazioni (mg/kg) riscontrate nei cinque monitoraggi effettuati negli anni 2009, 2011, 2013, 2015 e 2019 e i relativi arricchimenti calcolati secondo il metodo e la scala cromatica indicati nella tabella sottostante, che sono i medesimi utilizzati per la valutazione della campagna eseguita nel 2019.

F.A.	CLASSE	ALTERAZIONE
<1,2	I	Naturalità
1,2-1,5	II	Alterazione lieve
1,5-2	III	Alterazione bassa
2-3	IV	Alterazione media
3-4	V	Alterazione alta
>4	VI	Alterazione molto alta

Punti monitoraggio	Alluminio concentrazioni (mg/Kg)					Alluminio (arricchimento) IF				
	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2013	Anno 2015	Anno 2019	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2013	Anno 2015	Anno 2019
Bianco	506	697	787	808	577					
Bollitore	886	1481	1120	867	1010	1,8	2,1	1,4	1,1	1,8
Bastiglia	869	1191	1020	1044	980	1,7	1,7	1,3	1,3	1,7
Bomporto	779	1168	1066	1184	960	1,5	1,7	1,4	1,5	1,7
Ravarino	995	1708	946	952	830	2,0	2,5	1,2	1,2	1,4
Luoghetto	770	1346	1238	1160	1190	1,5	1,9	1,6	1,4	2,1
Cavo Argine	995	1298	995	762	780	2,0	1,9	1,3	0,9	1,4
Navicello	928	1268	1084	873	820	1,8	1,8	1,4	1,1	1,4
Viazza	945	1503	1295	920	1170	1,9	2,2	1,6	1,1	2,0
Paganini	938	1097	861	744	830	1,9	1,6	1,1	0,9	1,4
Fossalta	895	1371	1026	896	890	1,8	2,0	1,3	1,1	1,5
S.Damaso	863	1631	1020	895	670	1,7	2,3	1,3	1,1	1,2
Modena Est	749	1151	852	n.d.	990	1,5	1,7	1,1	n.d.	1,7
Hesperia	772	1143	798	762	690	1,5	1,6	1,0	0,9	1,2
Centro	844	1404	802	759	870	1,7	2,0	1,0	0,9	1,5
Modena Ferrovia	n.d.	n.d.	889	848	1000	n.d.	n.d.	1,1	1,0	1,7
Sagittario	712	1202	1048	907	620	1,4	1,7	1,3	1,1	1,1
S.Giacomo	928	1692	1115	655	910	1,8	2,4	1,4	0,8	1,6
San Pancrazio	970	1643	1255	1079	1150	1,9	2,4	1,6	1,3	2,0
San Matteo	963	1764	1072	1286	830	1,9	2,5	1,4	1,6	1,4
Depurat. Nord	884	1286	1178	804	840	1,7	1,8	1,5	1,0	1,5
Depurat. Sud	972	1628	1022	1205	710	1,9	2,3	1,3	1,5	1,2

Punti monitoraggio	Antimonio concentrazioni (mg/Kg)					Antimonio (arricchimento) IF				
	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2013	Anno 2015	Anno 2019	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2013	Anno 2015	Anno 2019
Bianco	0,25	0,25	0,25	0,33	0,11					
Bollitore	0,25	0,25	0,25	0,4	0,31	1,0	1,0	1,0	1,2	2,8
Bastiglia	0,25	0,25	0,25	0,3	0,29	1,0	1,0	1,0	0,9	2,6
Bomporto	0,25	0,25	0,25	0,5	0,23	1,0	1,0	1,0	1,5	2,1
Ravarino	0,25	0,25	0,7	0,8	0,26	1,0	1,0	2,8	2,4	2,4
Luoghetto	0,25	0,25	0,25	0,5	0,41	1,0	1,0	1,0	1,5	3,7
Cavo Argine	0,25	0,25	0,25	0,4	0,29	1,0	1,0	1,0	1,2	2,6
Navicello	0,25	0,25	0,6	0,3	0,25	1,0	1,0	2,4	0,9	2,3
Viazza	0,25	0,25	0,25	0,7	0,34	1,0	1,0	1,0	2,1	3,1
Paganini	0,25	0,25	0,25	0,4	0,23	1,0	1,0	1,0	1,2	2,1
Fossalta	0,25	0,25	0,25	0,4	0,2	1,0	1,0	1,0	1,2	1,8
S.Damaso	0,25	0,25	1,10	0,3	0,23	1,0	1,0	4,4	0,9	2,1
Modena Est	0,25	0,25	0,25	n.d.	0,25	1,0	1,0	1,0	n.d.	2,3
Hesperia	0,25	0,25	0,25	n.d.	0,28	1,0	1,0	1,0	n.d.	2,5
Centro	0,25	0,25	0,25	0,2	0,23	1,0	1,0	1,0	0,6	2,1
Modena Ferrovia	n.d.	n.d.	0,25	0,3	0,3	n.d.	n.d.	1,0	0,9	2,7
Sagittario	0,25	0,25	0,25	0,8	0,21	1,0	1,0	1,0	2,4	1,9
S.Giacomo	0,25	0,25	0,25	0,6	0,35	1,0	1,0	1,0	1,8	3,2
San Pancrazio	0,25	0,25	0,6	0,5	0,26	1,0	1,0	2,4	1,5	2,4
San Matteo	0,25	0,25	0,25	0,7	0,39	1,0	1,0	1,0	2,1	3,5
Depurat. Nord	0,25	0,25	0,25	0,4	0,27	1,0	1,0	1,0	1,2	2,5
Depurat. Sud	0,25	0,25	0,25	0,4	0,28	1,0	1,0	1,0	1,2	2,5

Punti monitoraggio	Arsenico concentrazioni (mg/Kg)					Arsenico (arricchimento) IF				
	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2013	Anno 2015	Anno 2019	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2013	Anno 2015	Anno 2019
Bianco	0,230	0,200	0,19	0,500	0,22					
Bollitore	d.i.	d.i.	d.i.	0,5	0,34	d.i.	d.i.	d.i.	1,0	1,5
Bastiglia	0,4	0,3	0,2	0,5	0,33	1,7	1,5	1,1	1,0	1,5
Bomporto	0,4	0,3	0,3	0,8	0,31	1,7	1,5	1,6	1,6	1,4
Ravarino	0,4	0,4	0,3	0,5	0,30	1,7	2,0	1,6	1,0	1,4
Luoghetto	0,4	0,4	0,2	0,6	0,43	1,7	2,0	1,1	1,2	2,0
Cavo Argine	0,4	0,3	0,3	0,4	0,02	1,7	1,5	1,6	0,8	0,1
Navicello	d.i.	d.i.	d.i.	0,5	0,30	d.i.	d.i.	d.i.	1,0	1,4
Viazza	d.i.	d.i.	d.i.	0,5	0,41	d.i.	d.i.	d.i.	1,0	1,9
Paganini	0,3	0,2	0,2	0,5	0,34	1,3	1,0	1,1	1,0	1,5
Fossalta	0,3	0,3	0,05	0,5	0,32	1,3	1,5	0,3	1,0	1,5
S.Damaso	0,4	0,3	0,05	0,5	0,23	1,7	1,5	0,3	1,0	1,0
Modena Est	0,3	0,3	0,05	n.d.	0,31	1,3	1,5	0,3	n.d.	1,4
Hesperia	0,3	0,3	0,05	0,4	0,22	1,3	1,5	0,3	0,8	1,0
Centro	0,4	0,3	0,05	0,4	0,30	1,7	1,5	0,3	0,8	1,4
Modena Ferrovia	n.d.	n.d.	0,5	0,4	0,40	n.d.	n.d.	2,6	0,8	1,8
Sagittario	0,4	0,3	0,05	0,6	0,24	1,7	1,5	0,3	1,2	1,1
S.Giacomo	0,4	0,4	0,4	0,4	0,32	1,7	2,0	2,1	0,8	1,5
San Pancrazio	0,4	0,3	0,6	0,5	0,36	1,7	1,5	3,2	1,0	1,6
San Matteo	0,4	0,4	0,5	0,6	0,30	1,7	2,0	2,6	1,2	1,4
Depurat. Nord	0,4	0,4	0,7	0,5	0,29	1,7	2,0	3,7	1,0	1,3
Depurat. Sud	0,9	0,3	0,4	0,6	0,28	3,9	1,5	2,1	1,2	1,3

Punti monitoraggio	Cadmio concentrazioni (mg/Kg)					Cadmio (arricchimento) IF				
	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2013	Anno 2015	Anno 2019	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2013	Anno 2015	Anno 2019
Bianco	0,22	0,30	0,06	0,20	0,19					
Bollitore	0,33	0,20	0,09	0,16	0,20	1,5	0,7	1,5	0,8	1,1
Bastiglia	0,35	0,22	0,08	0,12	0,37	1,6	0,7	1,3	0,6	1,9
Bomporto	0,37	0,27	0,03	0,14	0,17	1,7	0,9	0,4	0,7	0,9
Ravarino	0,30	0,33	0,13	0,15	0,22	1,4	1,1	2,2	0,8	1,2
Luoghetto	0,35	0,24	0,11	0,22	0,23	1,6	0,8	1,8	1,1	1,2
Cavo Argine	0,34	0,31	0,08	0,18	0,23	1,5	1,0	1,3	0,9	1,2
Navicello	0,34	0,21	0,14	0,13	0,16	1,5	0,7	2,3	0,7	0,8
Viazza	0,29	0,31	0,18	0,19	0,20	1,3	1,0	3,0	1,0	1,1
Paganini	0,27	0,20	0,03	0,18	0,21	1,2	0,7	0,4	0,9	1,1
Fossalta	0,35	0,19	0,08	0,18	0,23	1,6	0,6	1,3	0,9	1,2
S.Damaso	0,27	0,22	0,10	0,19	0,23	1,2	0,7	1,7	1,0	1,2
Modena Est	0,29	0,24	0,09	n.d.	0,19	1,3	0,8	1,5	n.d.	1,0
Hesperia	0,27	0,22	0,03	0,16	0,20	1,2	0,7	0,4	0,8	1,1
Centro	0,30	0,23	0,12	0,17	0,13	1,4	0,8	2,0	0,9	0,7
Modena Ferrovia	n.d.	n.d.	0,11	0,18	0,16	n.d.	n.d.	1,8	0,9	0,8
Sagittario	0,25	0,30	0,17	0,16	0,20	1,1	1,0	2,8	0,8	1,1
S.Giacomo	0,26	0,39	0,08	0,16	0,20	1,2	1,3	1,3	0,8	1,1
San Pancrazio	0,23	0,27	0,14	0,18	0,20	1,0	0,9	2,3	0,9	1,1
San Matteo	0,30	0,23	0,17	0,16	0,17	1,4	0,8	2,8	0,8	0,9
Depurat. Nord	0,31	0,45	0,08	0,15	0,13	1,4	1,5	1,3	0,8	0,7
Depurat. Sud	0,30	0,35	0,07	0,14	0,25	1,4	1,2	1,2	0,7	1,3

Punti monitoraggio	Cobalto concentrazioni (mg/Kg)					Cobalto (arricchimento) IF				
	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2013	Anno 2015	Anno 2019	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2013	Anno 2015	Anno 2019
Bianco	0,1	0,20	0,10	0,22	0,17					
Bollitore	0,3	0,4	0,4	0,3	0,31	3,0	2,0	4,0	1,4	1,8
Bastiglia	0,3	0,4	0,3	0,3	0,30	3,0	2,0	3,0	1,4	1,8
Bomporto	0,3	0,2	0,4	0,4	0,32	3,0	1,0	4,0	1,8	1,9
Ravarino	0,4	0,3	0,3	0,3	0,28	4,0	1,5	3,0	1,4	1,6
Luoghetto	0,2	0,1	0,4	0,7	0,36	2,0	0,5	4,0	3,2	2,1
Cavo Argine	0,4	0,2	0,3	0,3	0,23	4,0	1,0	3,0	1,4	1,4
Navicello	0,4	0,3	0,2	0,3	0,23	4,0	1,5	2,0	1,4	1,4
Viazza	0,4	0,4	0,4	0,3	0,36	4,0	2,0	4,0	1,4	2,1
Paganini	0,3	0,2	0,1	0,5	0,25	3,0	1,0	1,0	2,3	1,5
Fossalta	0,2	0,4	0,4	0,3	0,26	2,0	2,0	4,0	1,4	1,5
S.Damaso	0,2	0,3	0,4	0,3	0,24	2,0	1,5	4,0	1,4	1,4
Modena Est	0,3	0,1	0,3	n.d.	0,27	3,0	0,5	3,0	n.d.	1,6
Hesperia	0,2	0,2	0,3	0,3	0,26	2,0	1,0	3,0	1,4	1,5
Centro	0,2	0,4	0,1	0,2	0,24	2,0	2,0	1,0	0,9	1,4
Modena Ferrovia	n.d.	n.d.	0,2	0,3	0,32	n.d.	n.d.	2,0	1,4	1,9
Sagittario	0,2	0,3	0,3	0,3	0,22	2,0	1,5	3,0	1,4	1,3
S.Giacomo	0,3	0,4	0,2	0,2	0,30	3,0	2,0	2,0	0,9	1,8
San Pancrazio	0,2	0,4	0,4	0,3	0,31	2,0	2,0	4,0	1,4	1,8
San Matteo	0,4	0,4	0,4	0,6	0,26	4,0	2,0	4,0	2,7	1,5
Depurat. Nord	0,4	0,2	0,3	0,3	0,26	4,0	1,0	3,0	1,4	1,5
Depurat. Sud	0,2	0,3	0,2	0,3	0,22	2,0	1,5	2,0	1,4	1,3

Punti monitoraggio	Cromo concentrazioni (mg/Kg)					Cromo (arricchimento) IF				
	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2013	Anno 2015	Anno 2019	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2013	Anno 2015	Anno 2019
Bianco	0,93	1,7	1,4	2,0	1,56					
Bollitore	d.i.	d.i.	d.i.	2,6	4,48	d.i.	d.i.	d.i.	1,3	2,9
Bastiglia	1,9	3,1	2,3	2,4	3,64	2,0	1,8	1,7	1,2	2,3
Bomporto	1,6	2,5	2,3	3,1	3,84	1,7	1,5	1,7	1,6	2,5
Ravarino	2,1	4,1	2,1	2,7	3,43	2,3	2,4	1,6	1,4	2,2
Luoghetto	2,0	3,9	3,4	3,1	6,60	2,2	2,3	2,5	1,6	4,2
Cavo Argine	2,2	2,9	2,1	2,1	3,24	2,4	1,7	1,6	1,1	2,1
Navicello	d.i.	d.i.	d.i.	2,3	2,86	d.i.	d.i.	d.i.	1,2	1,8
Viazza	d.i.	d.i.	d.i.	2,3	4,20	d.i.	d.i.	d.i.	1,2	2,7
Paganini	1,7	2,7	1,8	1,8	2,93	1,8	1,6	1,3	0,9	1,9
Fossalta	1,8	3,8	2,6	2,2	2,80	1,9	2,2	1,9	1,1	1,8
S.Damaso	2,1	4,2	2,9	2,4	3,15	2,3	2,5	2,1	1,2	2,0
Modena Est	1,9	3,2	2,2	n.d.	3,88	2,0	1,9	1,6	n.d.	2,5
Hesperia	1,6	3,1	1,9	2,0	3,53	1,7	1,8	1,4	1,0	2,3
Centro	1,8	3,4	1,9	1,9	2,84	1,9	2,0	1,4	1,0	1,8
Modena Ferrovia	n.d.	n.d.	2,1	2,0	3,64	n.d.	n.d.	1,6	1,0	2,3
Sagittario	1,5	2,9	2,2	2,1	3,20	1,6	1,7	1,6	1,1	2,1
S.Giacomo	2,3	3,9	3,1	1,4	3,73	2,5	2,3	2,3	0,7	2,4
San Pancrazio	2,1	4,0	2,8	2,8	3,44	2,3	2,4	2,1	1,4	2,2
San Matteo	2,3	4,9	2,8	4,2	3,22	2,5	2,9	2,1	2,1	2,1
Depurat. Nord	2,1	3,9	2,8	2,3	3,10	2,3	2,3	2,1	1,2	2,0
Depurat. Sud	2,4	3,9	2,4	2,6	2,53	2,6	2,3	1,8	1,3	1,6

Punti monitoraggio	Manganese concentrazioni (mg/Kg)					Manganese (arricchimento) IF				
	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2013	Anno 2015	Anno 2019	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2013	Anno 2015	Anno 2019
Bianco	39,8	48,5	51,01	61,6	60					
Bollitore	59,1	62,7	51,3	69,5	91	1,5	1,3	1,0	1,1	1,5
Bastiglia	50,9	55,2	83,9	58,0	76	1,3	1,1	1,6	0,9	1,3
Bomporto	43,2	46,1	53,2	59,7	77	1,1	1,0	1,0	1,0	1,3
Ravarino	61,2	63,7	63,7	68,2	92	1,5	1,3	1,2	1,1	1,5
Luoghetto	51,5	64,4	67,9	54,4	83	1,3	1,3	1,3	0,9	1,4
Cavo Argine	70,2	70,8	48,6	70,9	61	1,8	1,5	1,0	1,2	1,0
Navicello	48,9	61,8	85,3	79,7	66	1,2	1,3	1,7	1,3	1,1
Viazza	70,6	75,8	56,4	77,1	118	1,8	1,6	1,1	1,3	2,0
Paganini	59,3	70,0	55,1	64,3	74	1,5	1,4	1,1	1,0	1,2
Fossalta	60,0	77,8	74,7	65,8	83	1,5	1,6	1,5	1,1	1,4
S.Damaso	51,7	58,7	71	71,5	62	1,3	1,2	1,4	1,2	1,0
Modena Est	55,2	35,4	60,6	n.d.	50	1,4	0,7	1,2	n.d.	0,8
Hesperia	44,0	43,1	54,2	59,2	86	1,1	0,9	1,1	1,0	1,4
Centro	53,3	59,4	64,6	65,3	50	1,3	1,2	1,3	1,1	0,8
Modena Ferrovia	n.d.	n.d.	57,9	61,2	97	n.d.	n.d.	1,1	1,0	1,6
Sagittario	45,5	56,3	53,9	80,5	71	1,1	1,2	1,1	1,3	1,2
S.Giacomo	58,9	130,4	60,2	56,6	80	1,5	2,7	1,2	0,9	1,3
San Pancrazio	55,0	46,4	80,6	98,6	69	1,4	1,0	1,6	1,6	1,1
San Matteo	64,6	83,0	51,4	80,2	88	1,6	1,7	1,0	1,3	1,5
Depurat. Nord	51,3	58,5	62,5	56,1	51	1,3	1,2	1,2	0,9	0,8
Depurat. Sud	66,5	176,8	58,3	58,6	65	1,7	3,6	1,1	1,0	1,1

Punti monitoraggio	Mercurio concentrazioni (mg/Kg)					Mercurio (arricchimento) IF				
	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2013	Anno 2015	Anno 2019	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2013	Anno 2015	Anno 2019
Bianco	0,3	0,2	0,300	0,27	0,17					
Bollitore	0,4	0,3	0,344	0,32	0,12	1,1	1,5	1,1	1,2	0,7
Bastiglia	0,4	0,2	0,333	0,40	0,14	1,3	1,2	1,1	1,5	0,8
Bomporto	0,3	0,3	0,331	0,32	0,11	1,0	1,3	1,1	1,2	0,6
Ravarino	0,4	0,3	0,347	0,29	0,11	1,2	1,4	1,2	1,1	0,6
Luoghetto	0,4	0,3	0,323	0,34	0,24	1,1	1,3	1,1	1,3	1,4
Cavo Argine	0,4	0,3	0,274	0,34	0,26	1,2	1,3	0,9	1,3	1,5
Navicello	0,4	0,2	0,305	0,32	0,26	1,2	1,1	1,0	1,2	1,5
Viazza	0,4	0,3	0,320	0,23	0,21	1,4	1,3	1,1	0,9	1,2
Paganini	0,4	0,2	0,287	0,33	0,25	1,2	1,2	1,0	1,2	1,5
Fossalta	0,4	0,3	0,357	0,33	0,21	1,4	1,3	1,2	1,2	1,2
S.Damaso	0,4	0,3	0,358	0,26	0,19	1,4	1,3	1,2	1,0	1,1
Modena Est	0,4	0,3	0,390	n.d.	0,12	1,3	1,4	1,3	n.d.	0,7
Hesperia	0,4	0,3	0,359	0,30	0,18	1,2	1,4	1,2	1,1	1,1
Centro	0,4	0,3	0,312	0,24	0,19	1,4	1,3	1,0	0,9	1,1
Modena Ferrovia	n.d.	n.d.	0,347	0,30	0,22	n.d.	n.d.	1,2	1,1	1,3
Sagittario	0,4	0,3	0,319	0,31	0,20	1,2	1,3	1,1	1,1	1,2
S.Giacomo	0,4	0,3	0,333	0,24	0,19	1,3	1,4	1,1	0,9	1,1
San Pancrazio	0,4	0,3	0,316	0,24	0,18	1,4	1,3	1,1	0,9	1,1
San Matteo	0,4	0,3	0,315	0,33	0,11	1,2	1,4	1,1	1,2	0,6
Depurat. Nord	0,4	0,2	0,335	0,31	0,20	1,1	1,2	1,1	1,1	1,2
Depurat. Sud	0,4	0,3	0,309	0,31	0,18	1,3	1,4	1,0	1,1	1,1

Punti monitoraggio	Nichel concentrazioni (mg/Kg)					Nichel (arricchimento) IF				
	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2013	Anno 2015	Anno 2019	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2013	Anno 2015	Anno 2019
Bianco	1,1	1,0	0,61	1,63	1,25					
Bollitore	1,7	1,8	1,3	1,80	2,00	1,5	1,8	2,1	1,1	1,6
Bastiglia	1,7	1,8	1,3	1,80	2,02	1,5	1,8	2,1	1,1	1,6
Bomporto	1,4	1,6	0,9	2,10	2,16	1,3	1,6	1,5	1,3	1,7
Ravarino	1,9	2,3	1,1	1,80	2,04	1,7	2,3	1,8	1,1	1,6
Luoghetto	1,6	1,7	1,3	2,00	2,27	1,5	1,7	2,1	1,2	1,8
Cavo Argine	1,8	1,5	0,7	1,50	1,70	1,6	1,5	1,1	0,9	1,4
Navicello	1,7	1,6	1,2	1,50	1,53	1,5	1,6	2,0	0,9	1,2
Viazza	1,8	2,1	1,5	1,60	2,29	1,6	2,1	2,5	1,0	1,8
Paganini	1,7	1,3	0,8	1,50	1,72	1,5	1,3	1,3	0,9	1,4
Fossalta	1,6	1,8	1,3	1,70	1,83	1,5	1,8	2,1	1,0	1,5
S.Damaso	1,7	2,0	1,2	1,70	1,62	1,5	2,0	2,0	1,0	1,3
Modena Est	1,7	1,7	1	n.d.	1,9	1,5	1,7	1,6	n.d.	1,5
Hesperia	1,4	2,1	0,8	1,70	1,76	1,3	2,1	1,3	1,0	1,4
Centro	1,6	1,8	0,7	1,50	1,65	1,5	1,8	1,1	0,9	1,3
Modena Ferrovia	n.d.	n.d.	1,0	1,40	2,16	n.d.	n.d.	1,6	0,9	1,7
Sagittario	1,7	1,6	0,9	1,80	1,58	1,5	1,6	1,5	1,1	1,3
S.Giacomo	1,9	2,2	1,1	1,20	1,84	1,7	2,2	1,8	0,7	1,5
San Pancrazio	1,7	1,6	1,2	1,90	1,82	1,5	1,6	2,0	1,2	1,5
San Matteo	1,9	2,2	0,9	2,00	1,76	1,7	2,2	1,5	1,2	1,4
Depurat. Nord	1,9	2,3	2,3	1,60	1,72	1,7	2,3	3,8	1,0	1,4
Depurat. Sud	1,8	2,0	0,9	2,00	1,62	1,6	2,0	1,5	1,2	1,3

Punti monitoraggio	Piombo concentrazioni (mg/Kg)					Piombo (arricchimento) IF				
	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2013	Anno 2015	Anno 2019	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2013	Anno 2015	Anno 2019
Bianco	7,0	1,3	4,75	6,8	6,4					
Bollitore	10,0	4,0	6,0	6,2	7,1	1,4	3,1	1,3	0,9	1,1
Bastiglia	10,0	3,0	6,0	5,4	7,2	1,4	2,3	1,3	0,8	1,1
Bomporto	8,0	3,0	6,0	6,9	5,4	1,1	2,3	1,3	1,0	0,8
Ravarino	8,0	3,0	6,0	6,6	6,0	1,1	2,3	1,3	1,0	0,9
Luoghetto	9,0	3,0	9,0	7,6	8,3	1,3	2,3	1,9	1,1	1,3
Cavo Argine	10,0	4,0	6,0	6,2	7,1	1,4	3,1	1,3	0,9	1,1
Navicello	10,0	4,0	8,0	8,0	6,3	1,4	3,1	1,7	1,2	1,0
Viazza	13,0	5,0	8,0	5,9	7,0	1,9	3,8	1,7	0,9	1,1
Paganini	11,0	2,0	6,0	5,3	7,4	1,6	1,5	1,3	0,8	1,1
Fossalta	12,0	3,0	8,0	7,9	6,1	1,7	2,3	1,7	1,2	0,9
S.Damaso	8,0	5,0	11,0	6,0	8,2	1,1	3,8	2,3	0,9	1,3
Modena Est	11,0	2,0	8,0	n.d.	6,00	1,6	1,5	1,7	n.d.	0,9
Hesperia	9,0	3,0	7,0	5,8	6,4	1,3	2,3	1,5	0,8	1,0
Centro	9,0	5,0	7,0	5,3	4,4	1,3	3,8	1,5	0,8	0,7
Modena Ferrovia	n.d.	n.d.	7,0	5,3	4,5	n.d.	n.d.	1,5	0,8	0,7
Sagittario	14,0	4,0	7,0	8,1	6,5	2,0	3,1	1,5	1,2	1,0
S.Giacomo	13,0	4,0	7,0	4,1	6,9	1,9	3,1	1,5	0,6	1,1
San Pancrazio	11,0	4,0	9,0	5,3	6,0	1,6	3,1	1,9	0,8	0,9
San Matteo	14,0	5,0	6,0	9,5	5,5	2,0	3,8	1,3	1,4	0,9
Depurat. Nord	12,0	4,0	9,0	5,8	5,2	1,7	3,1	1,9	0,8	0,8
Depurat. Sud	16,0	5,0	8,0	6,9	8,0	2,3	3,8	1,7	1,0	1,2

Punti monitoraggio	Rame concentrazioni (mg/Kg)					Rame (arricchimento) IF				
	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2013	Anno 2015	Anno 2019	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2013	Anno 2015	Anno 2019
Bianco	4,3	5,1	5,29	22,55	4,11					
Bollitore	d.i.	d.i.	d.i.	11,60	11,4	d.i.	d.i.	d.i.	0,5	2,8
Bastiglia	9,4	9,3	8,7	12,30	7,7	2,2	1,8	1,6	0,5	1,9
Bomporto	8,3	8,0	8,1	15,10	7,2	1,9	1,6	1,5	0,7	1,8
Ravarino	10,3	14,7	8,3	20,30	7,1	2,4	2,9	1,6	0,9	1,7
Luoghetto	11,8	13,7	13,9	20,80	25,7	2,7	2,7	2,6	0,9	6,3
Cavo Argine	11,3	10,2	9,2	13,00	7,4	2,6	2,0	1,7	0,6	1,8
Navicello	d.i.	d.i.	d.i.	11,90	7,7	d.i.	d.i.	d.i.	0,5	1,9
Viazza	d.i.	d.i.	d.i.	13,50	9,7	d.i.	d.i.	d.i.	0,6	2,4
Paganini	8,8	9,3	8,5	16,40	6,8	2,0	1,8	1,6	0,7	1,7
Fossalta	9,6	13,5	12,9	17,40	6,6	2,2	2,6	2,4	0,8	1,6
S.Damaso	8,7	13,5	10,4	14,30	6,2	2,0	2,6	2,0	0,6	1,5
Modena Est	11,1	11,2	10,4	n.d.	7,3	2,6	2,2	2,0	n.d.	1,8
Hesperia	8,9	11,3	8,5	17,70	7,3	2,1	2,2	1,6	0,8	1,8
Centro	9,4	12,3	8,1	14,30	7,1	2,2	2,4	1,5	0,6	1,7
Modena Ferrovia	n.d.	n.d.	9,3	19,90	9,2	n.d.	n.d.	1,8	0,9	2,2
Sagittario	9,0	9,4	9	18,00	8,0	2,1	1,8	1,7	0,8	1,9
S.Giacomo	15,3	13,4	10,2	11,90	9,8	3,6	2,6	1,9	0,5	2,4
San Pancrazio	9,7	9,6	11,1	12,20	8,0	2,3	1,9	2,1	0,5	1,9
San Matteo	12,1	17,1	11,4	15,70	8,3	2,8	3,4	2,2	0,7	2,0
Depurat. Nord	11,0	13,2	10,5	15,80	8,2	2,6	2,6	2,0	0,7	2,0
Depurat. Sud	11,6	12,5	10,1	15,60	7,1	2,7	2,5	1,9	0,7	1,7

Punti monitoraggio	Vanadio concentrazioni (mg/Kg)					Vanadio (arricchimento) IF				
	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2013	Anno 2015	Anno 2019	Anno 2009	Anno 2011	Anno 2013	Anno 2015	Anno 2019
Bianco	1,5	1,8	1,75	1,8	1,42					
Bollitore	2,0	2,9	2,4	1,7	2,25	1,4	1,6	1,4	0,9	1,6
Bastiglia	2,0	2,6	2,1	2,1	2,19	1,4	1,4	1,2	1,2	1,5
Bomporto	1,8	2,2	2,3	2,4	2,15	1,2	1,2	1,3	1,3	1,5
Ravarino	2,1	3,2	2,0	2,0	1,84	1,4	1,8	1,1	1,1	1,3
Luoghetto	1,7	2,7	2,6	2,5	2,47	1,2	1,5	1,5	1,4	1,7
Cavo Argine	2,1	2,2	2,0	1,6	1,76	1,4	1,2	1,1	0,9	1,2
Navicello	2,0	2,7	2,2	1,7	1,84	1,4	1,5	1,3	0,9	1,3
Viazza	1,9	3,0	2,7	1,8	2,43	1,3	1,7	1,5	1,0	1,7
Paganini	1,9	2,4	2,0	1,5	1,93	1,3	1,3	1,1	0,8	1,4
Fossalta	1,8	2,6	2,2	1,8	1,92	1,2	1,4	1,3	1,0	1,4
S.Damaso	1,8	3,0	2,1	1,8	1,51	1,2	1,7	1,2	1,0	1,1
Modena Est	1,7	2,4	1,9	n.d.	2,31	1,2	1,3	1,1	n.d.	1,6
Hesperia	1,7	2,5	1,9	1,6	1,43	1,2	1,4	1,1	0,9	1,0
Centro	2,0	2,5	1,8	1,4	2,02	1,4	1,4	1,0	0,8	1,4
Modena Ferrovia	n.d.	n.d.	1,8	1,5	2,21	n.d.	n.d.	1,0	0,8	1,6
Sagittario	1,9	2,4	2,2	1,8	1,49	1,3	1,3	1,3	1,0	1,0
S.Giacomo	2,0	2,8	2,3	1,7	2,08	1,4	1,6	1,3	0,9	1,5
San Pancrazio	2,1	2,8	2,5	2,2	2,50	1,4	1,6	1,4	1,2	1,8
San Matteo	2,0	3,3	2,3	2,4	1,80	1,4	1,8	1,3	1,3	1,3
Depurat. Nord	1,8	2,5	2,5	1,8	1,99	1,2	1,4	1,4	1,0	1,4
Depurat. Sud	1,9	2,8	2,3	2,4	1,63	1,3	1,6	1,3	1,3	1,1

n.d. dato non disponibile

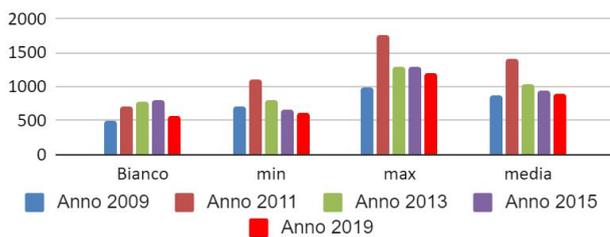
d.i. dato invalidato

Le concentrazioni inferiori al limite di rilevabilità sono evidenziate nelle tabelle con celle dallo sfondo grigio e sono valorizzate pari alla metà di tale limite.

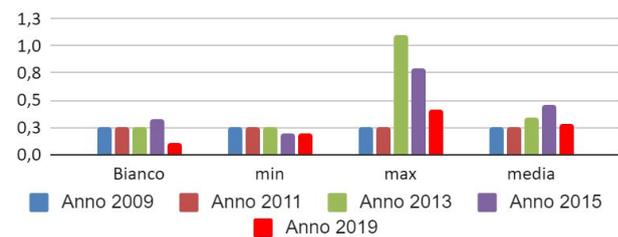
I dati di Tallio non sono stati riportati essendo questo metallo risultato inferiore ai limiti di rilevabilità per tutti gli anni dal 2009 al 2015.

Nel seguito si riporta una elaborazione grafica di sintesi dei dati, dove sono indicati i valori di bianco e le concentrazioni minima, massima e media per ciascun anno di monitoraggio per ciascun metallo analizzato (Fig. n.3).

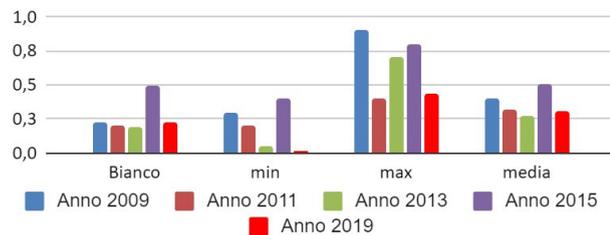
Alluminio



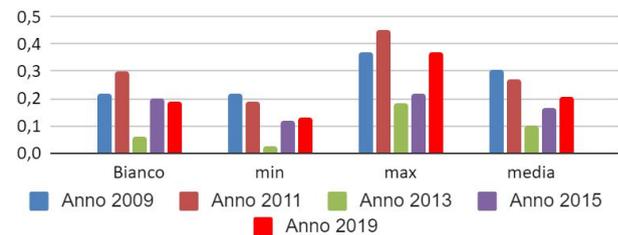
Antimonio



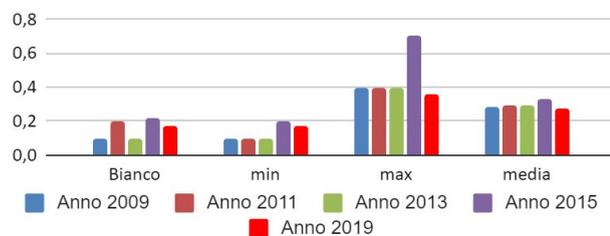
Arsenico



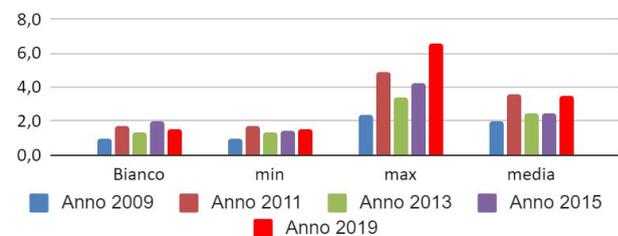
Cadmio



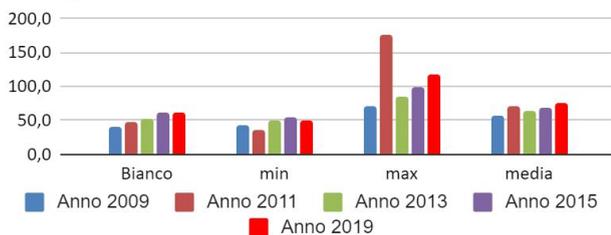
Cobalto



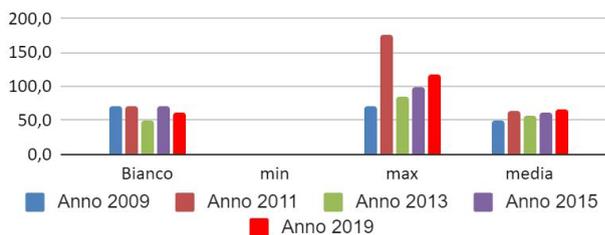
Cromo



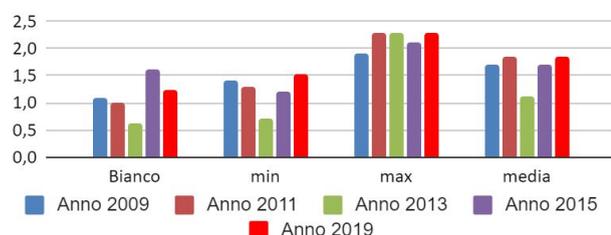
Manganese



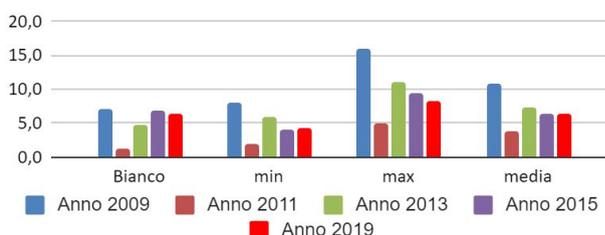
Mercurio



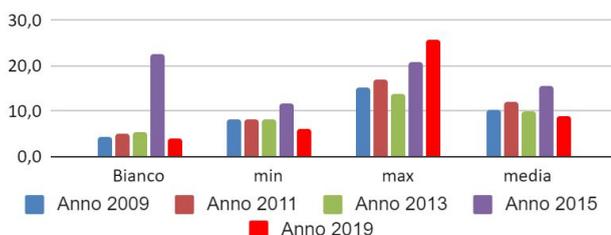
Nichel



Piombo



Rame



Vanadio

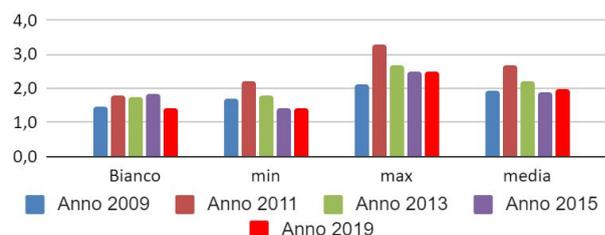


Fig. n. 3 Elaborazione grafica di sintesi dei dati, dove sono indicati i valori di bianco e le concentrazioni minima, massima e media per ciascun anno di monitoraggio per ciascun metallo analizzato

L'analisi comparativa dei dati raccolti negli anni 2009, 2011, 2013, 2015 e 2019 indica una sostanziale stazionarietà per alluminio, antimonio, arsenico, cobalto, cromo, mercurio, manganese, nichel, rame e un lieve miglioramento per cadmio, piombo e vanadio.

Riguardo ai singoli siti, si osservano per tutti i punti e per tutti i metalli delle lievi oscillazioni di classe, che non individuano uno specifico trend. La classe che corrisponde ad una 'alterazione molto alta' (cella color rosso) si presenta in rari casi temporalmente isolati, che paiono ascrivibili a alterazioni puntuali, la cui origine non è identificabile.

Nel 2019 tale situazione si presenta per il sito n.5 'Luoghetto' posto a circa 2 km dal termovalorizzatore.

Sintesi

L'indagine ambientale per la rilevazione di inquinanti atmosferici mediante uso di bioaccumulatori (eseguita da ECOSFERA per conto di HERAmbiente) ha avuto inizio il 10 settembre 2019 ed è terminata il 23

dicembre dello stesso anno; è stata effettuata in n.21 postazioni, in massima parte inserite nel territorio comunale di Modena, e ha determinato il bioaccumulo su licheni dei seguenti metalli: alluminio, antimonio, arsenico, cadmio, cobalto, cromo, manganese, mercurio, nichel, piombo, rame, tallio, vanadio.

Lo studio effettuato rispetta sia la frequenza che la tipologia di monitoraggio indicate nell'atto autorizzativo AIA, Det. n. 5966 del 16/11/2018.

Il metodo di campionamento utilizzato è del tipo "Lichen bags", secondo il protocollo proposto dall'ANPA e relativo all'impiego di espanti muscinali, e consiste nel prelevare da un'area non contaminata o poco contaminata alcuni talli di una sola specie e nel trapiantarli in un numero opportuno di stazioni nel territorio di studio.

Come per le precedenti campagne di monitoraggio 2009, 2011 2013, 2015 sono stati utilizzati talli del lichene "Pseudevernia furfuracea", ampiamente impiegato per questo tipo di indagini sul territorio nazionale, indicato anche nella "Linee guida per l'utilizzo dei licheni come bioaccumulatori" n. 189/2019 di ISPRA Allegato B Consigli per l'identificazione delle specie licheniche idonee.

Riguardo ai 'bianchi', quasi tutti i valori dei metalli sono risultati all'interno dei range che identificano le concentrazioni presenti nelle aree di background a livello nazionale, ad esclusione del manganese che risulta lievemente più alto.

Le analisi effettuate sui campioni di licheni dopo l'esposizione in aria ambiente per il periodo di 105 giorni indicano che gli elementi arsenico, cadmio, cobalto, mercurio, nichel, piombo, tallio e vanadio presentano concentrazioni medie nell'area di indagine inferiori o uguali ai valori di background naturale su scala nazionale, mentre presentano concentrazioni medie più elevate alluminio, manganese, antimonio, rame (rispettivamente 27,5%, 51,4%, 39,5%, 34,0%). Riguardo ai primi due elementi i livelli molto variabili riscontrati nei campioni di bianco rendono le concentrazioni di esposizione di difficile valutazione, mentre per i restanti metalli si tratta di un'alterazione di lieve entità.

L'utilizzo del Fattore di Arricchimento - confrontato con la scala di alterazione basata sul Pollution Index Factor - indica che la maggior parte degli elementi si attesta fra la naturalità e una bassa alterazione.

Fanno eccezione antimonio, cromo e rame che evidenziano in alcuni siti indici di alterazione 'media'. E' presente un solo sito con alterazione 'molto alta' (n.5 'Lughetto') per Cr e Cu, per il quale tuttavia non si riscontra un nesso di causalità con le emissioni dell'impianto di termovalorizzazione, poichè per questi due elementi - la cui presenza nell'aria vede il contributo di numerose fonti antropiche - i dati misurati a camino mostrano concentrazioni molto contenute durante il periodo di esposizione lichenica. Nel caso del rame vi è inoltre da tenere conto del contributo dovuto alla presenza del metallo nel terreno in concentrazioni elevate. L'analisi comparativa dei dati raccolti negli anni 2009, 2011, 2013, 2015 e 2019 indica una sostanziale stazionarietà per alluminio, antimonio, arsenico, cobalto, cromo, mercurio, manganese, nichel, rame e un lieve miglioramento per cadmio, piombo e vanadio.

Riguardo ai singoli siti, si osservano per tutti i punti e per tutti i metalli delle lievi oscillazioni di classe, che non individuano uno specifico trend. La classe che corrisponde ad una alterazione 'molto alta' si presenta in rari casi temporalmente isolati, che paiono quindi ascrivibili ad alterazioni puntuali, per le quali risulta utile verificarne l'andamento nel tempo.

Per concludere si evidenzia che a gennaio 2020 sono uscite le “Linee guida per l'utilizzo dei licheni come bioaccumulatori” (Manuale n.189/2019 di ISPRA/SNPA) che costituiscono il riferimento per indagini analoghe alla presente, e che devono essere quindi prese a riferimento per i futuri monitoraggi.