

BIOMONITORAGGIO MEDIANTE LICHENI EPIFITI NELL'AREA DI INFLUENZA DEL PAI DI PARMA



A cura di:
Dr. Rossano Bolpagni
Dr. Chiara Lelli

Febbraio 2020
Rev. 1 Dicembre 2020

PREMESSA

Il presente documento costituisce il rapporto finale relativo all'attività di biomonitoraggio mediante licheni epifiti svolta nel 2019 nell'ambito del progetto di indagine relativo al polo ambientale integrato (PAI) per la gestione dei rifiuti nell'ATO di Parma [si veda la “*Proposta di monitoraggio ambientale Post – operam (esercizio) per l'anno 2015*”]. Il lavoro è consistito in:

- Rilevamento e valutazione della biodiversità lichenica in 13 stazioni nell'area di influenza del PAI;
- Prelievo di campioni di talli lichenici della specie *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. per l'analisi del bioaccumulo di metalli pesanti e IPA in 18 stazioni nell'area di influenza del PAI.

In aggiunta, su specifica richiesta di IREN, la presente relazione sarà integrata con l'analisi dettagliata dei risultati delle “analisi di bioaccumulo e IPA (Idrocarburi policiclici aromatici)” sulla base dei dati che saranno forniti da ARPA Ravenna, soggetto responsabile della parte analitica di questa campagna di biomonitoraggio.

1. RILEVAMENTO E VALUTAZIONE DELLA BIODIVERSITÀ LICHENICA

1.1 Aspetti metodologici del campionamento

Il presente lavoro è basato sul rilevamento della biodiversità lichenica nelle 13 stazioni già indagate nel 2007, nel 2011 e nel 2015 (Tabella 1). I rilievi sono stati eseguiti sugli stessi alberi della campagna del 2015 (39 alberi in 13 stazioni). Tutti gli alberi rilevati appartengono al genere *Tilia*.

I rilievi sono stati eseguiti nei giorni 13 e 14 febbraio 2019.

Il metodo di rilevamento della biodiversità lichenica è basato sulla procedura standardizzata a livello nazionale ed europeo e usualmente utilizzata nel campo del biomonitoraggio (ANPA, 2001; Asta et al., 2002; Cristofolini et al., 2014) e già utilizzata nelle campagne precedenti. Un reticolo di 10 x 50 cm, suddiviso in 5 quadrati uguali, è stato apposto su ciascun albero a 100 cm da terra ai quattro punti cardinali (Figura 1). Per ciascun albero è stata così rilevata la frequenza di ciascuna specie intesa come numero dei quadrati del reticolo in cui essa è presente. Sommando le frequenze di tutte le specie per ciascun albero è stato calcolato l'Indice di Biodiversità Lichenica (IBL) di ogni albero campionato. Per ogni stazione, l'IBL è stato calcolato come la media dei tre alberi.

Analogamente, in ciascuna stazione si sono calcolati il numero medio di specie per albero (media delle specie presenti sui tre alberi) e il numero totale di specie.

Le specie non identificate sul campo sono state campionate e identificate in laboratorio mediante analisi macro-morfologica utilizzando uno stereo microscopio, analisi micro-morfologica (spore, corpi fruttiferi, ecc.) utilizzando un microscopio ottico, e test chimici di routine in lichenologia (spot test). In alcuni casi la determinazione è stata possibile solo a livello di genere.

Le caratteristiche ecologiche (in relazione a: pH del substrato, umidità, illuminazione, eutrofizzazione) delle specie sono state ricavate dal database dei licheni italiani (Nimis & Martellos, 2017). In particolare, l'analisi dell'ecologia delle specie è basata sui valori degli indicatori ecologici attribuiti per ogni specie utilizzando una scala ordinale di 5 livelli (Nimis & Martellos, 2017). Anche la nomenclatura è conforme a quella adottata nel database dei licheni d'Italia.

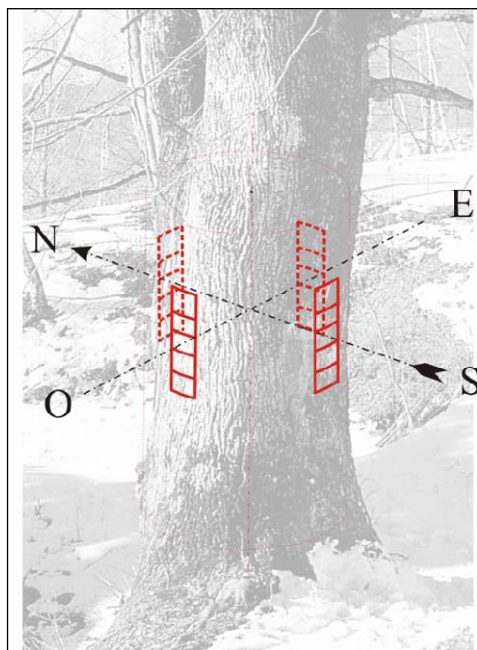


Figura 1: *illustrazione della tecnica di rilevamento della biodiversità lichenica sugli alberi utilizzando un reticolo di 10x50 cm, suddiviso in 5 quadrati uguali, apposto a 100 cm da terra ai quattro punti cardinali.*

Tabella 1: *Elenco delle stazioni e degli alberi su cui è stato eseguito il rilevamento della biodiversità lichenica. Si riportano le variazioni effettuate nel 2015. Dal 2015 al 2019 non vi sono state variazioni.*

Stazione	Tipologia ambientale	Albero	Circonferenza (cm)	Riferimento località	Sostituito o aggiunto rispetto al 2011	Spostamenti del reticolo sul tronco nel 2015
BL1	area residenziale	1	128	c/o campo sportivo-strada nuova di Baganzola	no	no
BL1	area residenziale	2	98	c/o campo sportivo-strada nuova di Baganzola	no	no
BL1	area residenziale	3	110	c/o campo sportivo-strada nuova di Baganzola	no	no
BL2	agricola esterna	1	156	c/o Strada Pedrignano 55	no	no
BL2	agricola esterna	2	114	c/o Strada Pedrignano 55	no	no
BL2	agricola esterna	3	118	c/o Strada Pedrignano 55	no	no
BL3	agricola interna	1	163	Strada Ugozzolo - c/o civico 59	no	reticoloW spostato 20° verso N
BL3	agricola interna	2	155	Strada Ugozzolo - c/o civico 59	no	reticolo N spostato 20° senso antiorario e E 20° senso orario
BL3	agricola interna	3	172	Strada Ugozzolo - c/o civico 59	no	reticolo E spostato 20° senso antiorario
BL4	area industriale	1	90	Via Paradigna - c/o civico 64	no	No
BL4	area industriale	2	81	Via Paradigna - c/o civico 64	no	reticolo W spostato 20° senso orario
BL4	area industriale	3	93	Via Paradigna - c/o civico 64	no	No
BL5	area residenziale	1	118	Case Nuove - imbocco via Serao	no	reticolo W spostato 20° senso orario
BL5	area residenziale	2	102	Case Nuove - imbocco via Serao	no	No
BL5	area residenziale	3	103	Case Nuove - imbocco via Serao	no	No
CA2	agricola interna	1	113	Pedrignano	si - con il terzo albero del filare	reticolo E spostato 20° verso Sud
CA2	agricola interna	2	92	Pedrignano	no	No
CA2	agricola interna	3	86	Pedrignano	no	No
CA3	agricola interna	1	103	Traversante Paradigna c/o giardino magazzino mobili	no	No
CA3	agricola interna	2	103	Traversante Paradigna c/o giardino magazzino mobili	no	No
CA3	agricola interna	3	82	Traversante Paradigna c/o giardino magazzino mobili	no	No
CA5	agricola esterna	1	92	c/o azienda agricola bivio Strada Borghetto e Strada Torretta	si - con il quinto del filare di DX; 605650, 4968382 fuso 32T	No
CA5	agricola esterna	2	101	c/o azienda agricola bivio Strada Borghetto e Strada Torretta	no	No
CA5	agricola esterna	3	103	c/o azienda agricola bivio Strada Borghetto e Strada Torretta	no	No
CA6	area residenziale	1	91	San Polo- vicino all'asilo	no	No
CA6	area residenziale	2	79	San Polo- vicino all'asilo	si - con il taglio nell'angolo del cortile del civico 13; 607056, 4971418 fuso 32T	No

Segue Tabella 1

Stazione	Tipologia ambientale	Albero	Circonferenza (cm)	Riferimento località	Sostituito o aggiunto rispetto al 2011	Spostamenti del reticolo sul tronco nel 2015
CA6	area residenziale	3	63	San Polo- vicino all'asilo	si - con il primo albero a Sx entrando nel parco di fronte all'asilo; 607086, 4971494 fuso 32T	no
CA7	agricola esterna	1	114	Case Vecchie	no	no
CA7	agricola esterna	2	149	Case Vecchie	no	no
CA7	agricola esterna	3	109	Case Vecchie	no	reticolo W spostato 20° verso Nord
CA10	area industriale	1	78	Zona Industriale Bogolese	no	no
CA10	area industriale	2	81	Zona Industriale Bogolese	no	no
CA10	area industriale	3	64	Zona Industriale Bogolese	no	no
CA11	agricola interna	1	103	Strada Puppiola- c/o civico 207	no	no
CA11	agricola interna	2	79	Strada Puppiola- c/o civico 207	no	no
CA11	agricola interna	3	74	Strada Puppiola- c/o civico 207	si - con il secondo a Dx del cancello; 604850, 4967327 fuso 32T	no
CA14	area residenziale	1	118	Cà Bianca-campo sportivo	si - primo vicino al pilone dell'illuminazione del campo (primo del filare); 605346, 4964472, 32T	no
CA14	area residenziale	2	114	Cà Bianca-campo sportivo	si - secondo del filare; 605343, 4964456, 32T	reticolo N spostato 20° senso orario
CA14	area residenziale	3	129	Cà Bianca-campo sportivo	si - quarto del filare; 605340, 4964449, 32T	no

1.2 Risultati

1.2.1 Aspetti generali

In totale, nella campagna di monitoraggio 2019 sono state rinvenute 30 specie (Tabella 4). La specie *Bacidia adastrata*, rinvenuta per la prima volta a livello nazionale nella stazione BL1 nella campagna 2015, è stata rinvenuta anche nella stazione CA14 nell'ultima campagna del 2019. Si tratta di una specie descritta nel 2003 da Sparrius & Aptroot (2003), tipica di corteccia eutrofizzata. Le caratteristiche biologiche delle specie sono riassunte nella Tabella 2. Circa metà di esse hanno tallo crostoso e l'altra metà foglioso, tutte hanno come fotobionte un'alga verde di tipo

clorococcoide e le modalità riproduttive più frequenti sono quella sessuata mediante spore e quella vegetativa mediante soredi.

Tabella 2: *Caratteristiche biologiche delle 30 specie rinvenute nel 2019*

Forma di crescita	
Tallo crostoso	16 specie
Tallo foglioso	14 specie
Fotobionte	
Alghe verdi clorococcoidi	30 specie
Riproduzione	
Sessuata mediante spore	15 specie
Vegetativa mediante isidi	2 specie
Vegetativa mediante soredi	13 specie

Le caratteristiche ecologiche delle specie sono riassunte nella Tabella 3. Si tratta di licheni tipici di substrati subacidi-subneutri, in condizioni di buona illuminazione e meso-xeriche, caratterizzate da una media eutrofizzazione.

La percentuale di specie nitrofile (classi 4 e 5 dell'indicatore di eutrofizzazione) che aveva presentato un incremento nella precedente campagna del 2015, risulta, invece, in calo nel 2019, con una percentuale inferiore di specie appartenenti alla classe 4 dell'indicatore ed un leggero aumento percentuale delle specie associate a valori di bassa eutrofizzazione. Inoltre, risulta in calo la percentuale di specie che crescono in forti condizioni di aridità (classe 5 dell'indicatore relativo all'umidità).

Tabella 3: *Frequenza delle specie nelle 5 classi degli indicatori ecologici per le ultime due campagne (2015 e 2019).*

Classe dell'indicatore ecologico 2015	1	2	3	4	5
Indicatore relativo al pH del substrato	7%	47%	90%	53%	17%
Indicatore relativo alla luminosità	0	0	40%	90%	77%
Indicatore relativo all'umidità	0	13%	83%	53%	10%
Indicatore relativo all'eutrofizzazione	13%	43%	73%	63%	27%
Classe dell'indicatore ecologico 2019	1	2	3	4	5
Indicatore relativo al pH del substrato	10%	50%	83%	47%	13%

Indicatore relativo alla luminosità	0	0	47%	90%	70%
Indicatore relativo all'umidità	0	10%	83%	53%	3%
Indicatore relativo all'eutrofizzazione	17%	47%	70%	53%	27%

Legenda delle classi degli indicatori ecologici

Indicatore relativo al pH del substrato

1. licheni che crescono su substrati molto acidi
2. licheni che crescono su substrati acidi
3. su substrati da subacidi a subneutri
4. su substrati leggermente basici
5. su substrati basici

Indicatore relativo alla luminosità

1. specie che crescono in situazioni molto ombreggiate
2. specie che crescono in situazioni ombreggiate
3. specie che crescono in siti con abbondante luce diffusa ma scarsa irradiazione solare diretta
4. specie che crescono in siti esposti alla luce, ma che evitano un'intensa irradiazione solare
5. specie che crescono in siti con irradiazione solare molto elevata

Indicatore relativo all'umidità

1. specie che crescono in luoghi molto umidi con una frequenza molto elevata di nebbia
2. specie che crescono in luoghi umidi
3. specie che crescono in luoghi con condizioni intermedie di umidità
4. specie che crescono in luoghi piuttosto secchi, ma non estremamente aridi
5. specie che crescono in luoghi aridi.

Indicatore relativo all'eutrofizzazione

1. nessun fenomeno di eutrofizzazione
2. eutrofizzazione molto debole
3. eutrofizzazione debole
4. eutrofizzazione piuttosto alta
5. eutrofizzazione molto alta

1.2.2 Composizione specifica delle comunità

Le differenze nella composizione specifica delle comunità tra le tre campagne di monitoraggio sono state testate mediante il test PERMANOVA (Permutational Analysis of Variance) utilizzando l'indice di distanza di Bray-Curtis. L'analisi PERMANOVA è stata impiegata per testare le differenze tra i quattro anni di campionamento sia a coppie sia sul totale. A questa analisi è stato

abbinato un ordinamento mediante lo scaling multidimensionale non metrico (NMDS) che permette una visualizzazione grafica dei risultati.

Queste analisi evidenziano una differenza significativa tra i quattro anni di monitoraggio ($p\text{-value} < 0.05$), dovuta in particolare a significative differenze tra le campagne 2007 e 2019. La composizione delle comunità presenta differenze nel tempo variabili in relazione alla stazione, con situazioni dinamiche ed altre maggiormente stabili (Figura 2).

La maggiore dispersione dei punti relativi ai quattro anni, per ciascuna stazione (Figura 2), evidenzia le situazioni a maggiore dinamicità. In particolare, diverse stazioni, in particolar modo CA3, CA7 e CA10, mostrano uno shift composizionale evidente dall'anno 2007 ai successivi (che si presentano meno variabili), suggerendo così il manifestarsi di variazioni e trend di lungo termine, rilevabili grazie ad un monitoraggio di lungo periodo.

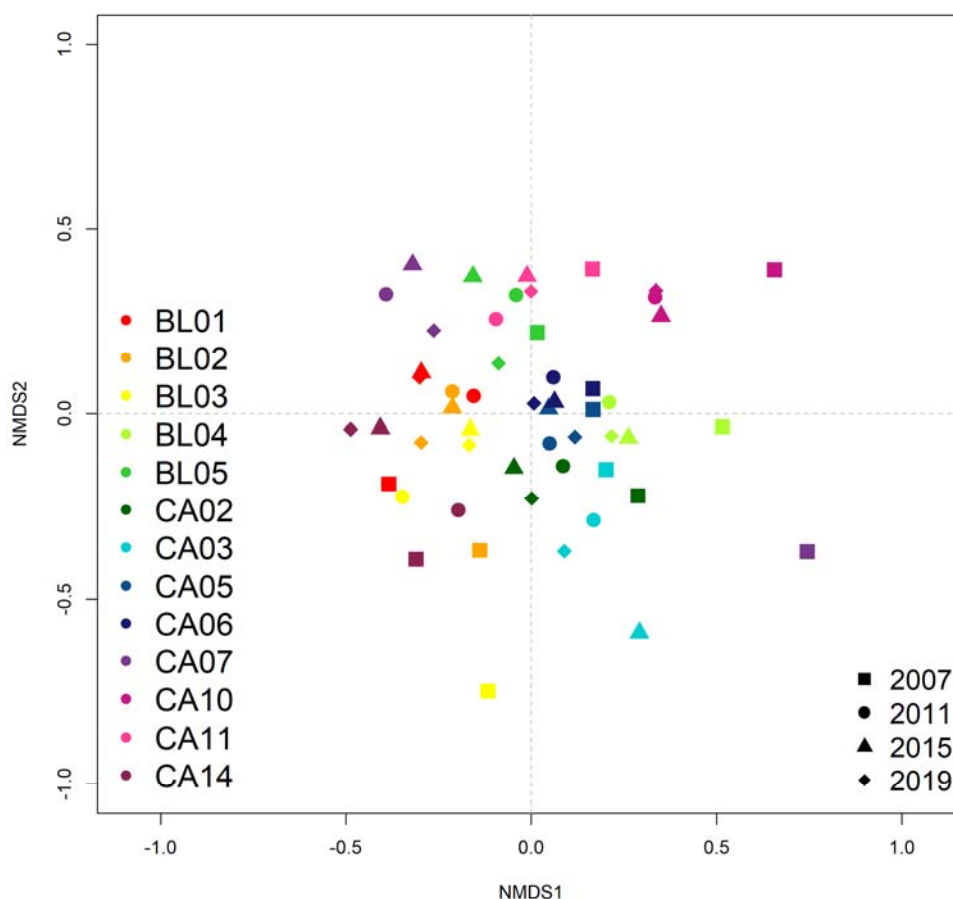


Figura 2: Biplot che illustra la distribuzione delle stazioni nello spazio delle specie. Le stazioni, rappresentate da diversi colori, sono classificate in base all'anno di rilevamento. L'analisi ha portato ad una soluzione bidimensionale che ha uno stress pari a 0.2.

Le dinamiche composizionali evidenziate sopra sono molto probabilmente determinate da quelle di alcune specie particolarmente comuni che hanno fatto registrare alcune variazioni di abbondanza nel corso degli anni (evidenziate in grassetto in Tabella 4), come nel caso di *Physconia grisea*, specie ritenuta una delle più indicative rispetto ad un inquinamento da sostanze azotate (Fрати et al., 2007) che è divenuta più comune ed abbondante in tutta l'area di studio, passando da 8 a 13 stazioni, e da una frequenza totale di 104 a 362 tra il 2007 e il 2019.

Le comunità licheniche più comuni sono quelle dello *Xanthorion parietinae* e del *Lecanorion*, spesso tra loro mescolate e caratterizzate ad esempio da specie come *Candelaria concolor*, *Physcia adscendens* e *Physconia grisea* nel primo caso e da *Lecanora chlarotera* e *Lecidella elaeochroma* nel secondo caso. La comunità del Parmelion sono praticamente assenti, salvo la sporadica presenza in alcune stazioni di *Parmelina tiliacea* e *Punctelia subrudecta*, uniche specie di questa comunità rinvenute nel 2019.

Tabella 4: Elenco comparativo delle specie rinvenute nelle quattro campagne di monitoraggio (2007, 2011, 2015 e 2019). Per ciascuna specie sono indicati: a) la frequenza complessiva (F) espressa come numero di maglie del reticolo di rilevamento in cui la specie è presente; b) il numero di stazioni in cui la specie è presente (N). In grassetto sono segnalate le specie che denotano una certa dinamica temporale.

Specie	F 2007	F 2011	F 2015	F 2019	N 2007	N 2011	N 2015	N 2019
<i>Arthonia radiata</i> (Pers.) Ach.	0	0	2	0	0	0	1	0
<i>Bacidia adastrae</i> Sparrius & Aptroot	0	0	9	11	0	0	1	2
<i>Bacidina delicata</i> (Leight.) V. Wirth & Vezda cfr.	7	0	0	0	1	0	0	0
<i>Amandinea punctata</i> (Hoffm.) Coppins & Scheid.	0	23	7	4	0	1	1	1
<i>Caloplaca pyracea</i> (Ach.) Th. Fr.	1	0	0	0	1	0	0	0
<i>Caloplaca</i> sp.	0	0	1	8	0	0	1	5
<i>Candelaria concolor</i> (Dicks.) Stein	353	472	425	447	13	13	13	12
<i>Candelariella efflorescens</i> auct. eur.	0	54	24	24	0	6	4	3
<i>Candelariella reflexa</i> (Nyl.) Lettau	223	297	288	338	11	12	12	13
<i>Candelariella xanthostigma</i> (Ach.) Lettau	101	120	155	147	7	10	11	10
<i>Catillaria nigroclavata</i> (Nyl.) Schuler	10	45	66	66	2	7	7	7
<i>Diplotomma alboatrum</i> (Hoffm.) Flot.	0	0	2	0	0	0	1	0
<i>Flavoparmelia caperata</i> (L.) Hale	1	1	0	2	1	1	0	1
<i>Hyperphyscia adglutinata</i> (Flörke) H. Mayrhofer & Poelt	189	217	211	206	12	13	12	12
<i>Lecania cyrtella</i> (Ach.) Th. Fr.	6	21	22	16	2	2	4	3
<i>Lecanora carpinea</i> (L.) Vain.	5	3	1	2	1	1	1	1
<i>Lecanora chlarotera</i> Nyl.	32	35	25	19	5	8	7	5

Specie	F 2007	F 2011	F 2015	F 2019	N 2007	N 2011	N 2015	N 2019
<i>Myriolecis hagenii</i> (Ach.) Sliwa, Zhao Xin & Lumbsch	138	273	205	239	4	13	12	12
<i>Lecanora leptyroides</i> (Nyl.) Degel.	0	0	2	5	0	0	1	1
<i>Lecanora</i> sp.	59	6	17	10	5	1	2	4
<i>Lecidella elaeochroma</i> (Ach.) M.Choisy	111	104	53	28	10	11	9	8
<i>Melanohalea exasperatula</i> (Nyl.) O.Blanco, A.Crespo, Divakar, Essl., D.Hawksw. & Lumbsch	3	2	0	0	1	1	0	0
<i>Parmelia sulcata</i> Taylor	1	3	0	0	1	2	0	0
<i>Parmelina tiliacea</i> (Hoffm.) Hale	3	2	6	6	2	2	3	3
<i>Physciella chloantha</i> (Ach.) Essl.	8	39	36	21	2	6	4	3
<i>Phaeophyscia hirsuta</i> (Mereschk.) Essl.	2	11	7	5	1	2	3	1
<i>Phaeophyscia nigricans</i> (Flörke) Moberg	0	18	19	13	0	1	4	5
<i>Phaeophyscia orbicularis</i> (Neck.) Moberg	545	600	417	466	13	13	13	13
<i>Phaeophyscia</i> sp.	25	8	5	0	1	1	1	0
<i>Physcia adscendens</i> (Fr.) H.Olivier	306	377	289	250	12	13	12	12
<i>Physcia clementei</i> (Turner) Maas Geest.	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Physconia enteroxantha</i> (Nyl.) Poelt	0	0	2	0	0	0	1	0
<i>Physconia grisea</i> (Lam.) Poelt ssp. <i>grisea</i>	104	225	330	362	8	11	13	13
<i>Punctelia subrudecta</i> (Nyl.) Krog	2	0	0	2	1	0	0	1
<i>Rinodina oleae</i> Bagl.	15	9	6	4	5	3	4	2
<i>Scoliciosporum umbrinum</i> (Ach.) Arnold	6	4	3	3	1	1	1	1
<i>Xanthomendoza fallax</i> (Arnold) Søchting, Kärnefelt & S.Y. Kondr.	14	0	11	10	2	0	1	1
<i>Xanthomendoza fulva</i> (Hoffm.) Søchting, Kärnefelt & S.Y. Kondr.	0	19	4	2	0	4	2	1
<i>Xanthoria parietina</i> (L.) Th.Fr.	193	272	165	208	11	12	12	13

1.2.3 Ricchezza specifica e Indice di Biodiversità Lichenica (IBL)

Come riportato in Tabella 5, mentre i valori di ricchezza specifica a livello di stazione del 2007 si discostavano significativamente da quelli del 2011 e 2015, i valori del 2019 risultano paragonabili rispetto alle tre campagne precedenti (2007, 2011 e 2015). Questo indica una situazione pressoché stabile, caratterizzata da oscillazioni di breve periodo. Tale osservazione è supportata anche considerando i valori medi di ricchezza specifica a livello di albero, la percentuale di specie nitrofile a livello di stazione e di albero.

Tabella 5: Comparazione tra le quattro campagne di rilevamento 2007-2011-2015-2019 in termini di ricchezza specifica e percentuale di specie nitrofile nelle 13 stazioni (sia a livello di stazione, sia di singolo albero). I valori medi per ciascuna campagna di rilevamento sono riportati a fondo della tabella. Lettere diverse indicano differenze significative ($P < 0,05$; ANOVA) tra i diversi anni di campionamento.

Stazione	N specie/stazione				N specie/albero				% Nitrofile/stazione				% Nitrofile/albero			
	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019
BL1	10	13	13	13	8	10.3	12.3	10.7	80	84.6	76.9	61.5	79.2	88.4	75.6	65.63
BL2	10	14	13	12	6.33	10	11	9	80	71.4	76.9	66.7	90.5	83.3	81.8	66.67
BL3	5	10	11	10	3	6	6.67	8.33	100	80	72.7	80	100	75.8	90.9	84.00
BL4	10	13	11	14	7	8.67	6.33	8.33	80	76.9	90.9	71.4	91.1	91.7	96.7	72.00
BL5	13	16	15	14	9	12.7	11	11	69.2	68.8	66.7	64.3	78.4	76.6	76.4	72.73
CA2	9	11	14	14	6.33	8	8	8	88.9	100	85.7	71.4	95.8	100	92.1	75.00
CA3	9	11	9	9	7.67	7	6	6.67	100	90.9	88.9	66.7	100	95.2	95.2	75.00
CA5	13	11	13	13	10	8.67	10	9.33	92.3	90.9	76.9	76.9	93.3	87.8	87.8	85.71
CA6	13	15	14	15	10.7	12.3	9	9.67	69.2	73.3	71.4	66.7	85	83.8	77.6	75.86
CA7	7	13	16	12	2.33	10.7	10.3	9	71.4	92.3	81.3	83.3	63	90.6	83.5	88.89
CA10	14	17	17	17	10	12.3	11.7	11.3	57.1	64.7	70.6	64.7	65	70.3	68.4	64.71
CA11	15	16	16	16	9.67	12	10.3	9.67	66.7	81.3	81.3	75	75.6	83.8	90.7	79.31
CA14	8	12	12	10	5.67	9	7.67	7.67	75	91.7	83.3	70	87.8	95.8	89.2	73.91
Media	10.46	13.23	13.38	13.00	7.36	9.82	9.26	9.13	79.22	82.06	78.73	70.66	84.97	86.39	85.07	75.34
DS	2.96	2.24	2.29	2.38	2.63	2.15	2.13	1.36	13.08	10.73	7.33	6.55	12.11	8.63	8.61	7.56

Il pattern temporale dei valori dell'IBL non evidenzia differenze significative tra i diversi anni di campionamento anche se si nota una tendenza negativa dal 2011 alle successive due campagne (2015 e 2019), specialmente per le stazioni BL5, CA6, CA10, CA14 (Tabella 6). Al contrario, tuttavia, la tendenza positiva già evidenziata nel 2015 per le stazioni BL1 e BL3, si mantiene costante (BL1), o anche in crescita (BL3). La percentuale di IBL determinata dalla frequenza delle specie nitrofile è sempre molto elevata, con medie superiori al 90% in tutte le campagne di monitoraggio.

Tabella 6: Comparazione tra le tre campagne di rilevamento in termini di valori dell'Indice di Biodiversità Lichenica (IBL) e di percentuale dell'indice determinata dalle specie nitrofile nelle 13 stazioni. I valori in grassetto indicano alcune situazioni dinamiche nell'arco temporale considerato. A fondo della tabella sono riportati i valori medi e la deviazione standard per ciascun anno di campionamento; non ci sono differenze significative tra le medie nei diversi anni di monitoraggio (test ANOVA).

Stazione	IBL				% IBL Nitro			
	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019
BL1	83	97	107	90	74	92	78	81
BL2	63	95	81	78	98	93	90	90
BL3	17	32	46	66	100	90	97	94
BL4	54	55	44	53	96	98	100	97
BL5	75	102	90	86	91	90	88	89
CA2	51	63	62	74	97	100	96	95
CA3	67	58	42	47	100	99	99	98
CA5	80	87	81	82	99	96	93	98
CA6	97	120	81	77	97	95	94	94
CA7	19	82	64	61	85	88	79	85
CA10	96	107	94	92	81	87	86	89
CA11	72	112	96	105	79	92	94	92
CA14	78	77	51	55	95	99	89	86
Media	66	84	72	74	92	94	91	91
DS	25	26	22	17	9	5	7	5

Utilizzando due scale di interpretazione dei valori dell'IBL in termini di naturalità/alterazione proposte per contesti ambientali simili a quello dell'area di studio (Castello & Skert, 2005; Isocrono et al., 2007; Tabelle 7 e 8) si vede che oltre la metà delle stazioni ricadono nelle classi più elevate, corrispondenti ad un giudizio ambientale di naturalità medio-alta-molto alta (Tabella 9).

Tabella 7: Scala di interpretazione di valori di IBL proposta da Castello & Skert (2005)

Classe	Intervallo	
	IBL	Giudizio
1	0	alterazione molto alta
2	1-15	alterazione alta
3	16-30	alterazione media
4	31-35	alterazione bassa/naturalità bassa
5	36-60	naturalità media
6	61-75	naturalità alta
7	>75	naturalità molto alta

Tabella 8: Scala di interpretazione di valori di IBL proposta da Isocrono et. al. (2007)

Classe	Intervallo	
	IBL	Giudizio
1	0	deserto lichenico
2	1--15	alterazione molto alta
3	16-30	alterazione alta
4	31-35	alterazione media
5	36-60	alterazione bassa
6	61-75	naturalità bassa
7	76-90	naturalità media
8	>90	naturalità elevata

Considerando le singole stazioni (Tabella 9), i valori IBL si mantengono pressoché inalterati nel periodo 2015-2019, mentre per il periodo 2011-2019 si evidenzia un trend negativo rispettivamente per due (scala Castello & Skert, 2005) e quattro stazioni (scala Isocrono et al., 2007), con passaggio ad una (o due) classi di IBL inferiori. In questo periodo (2011-2019), solo una stazione mostra, invece, una tendenza positiva (BL3). Nel periodo 2007-2019, rispettivamente due (scala Castello & Skert, 2005) e tre stazioni (scala Isocrono et al., 2007) mostrano un trend negativo, mentre sei (scala Castello & Skert, 2005) e sette stazioni (scala Isocrono et al., 2007) evidenziano un miglioramento. Si noti, però, che nella maggior parte dei casi in cui si registra un aumento degli indici IBL nel lungo periodo (2007-2019), tale valore tende a stabilizzarsi, o a calare nuovamente nei confronti successivi (2011-2019 e 2015-2019).

Tabella 9: Comparazione delle classi dell'IBL tra 2007, 2011, 2015 e 2019 applicando due scale interpretative adottate in contesti ambientali simili.

Classi IBL (Castello & Skert, 2005)							
Stazione	2007	2011	2015	2019	Variazione 2007-2019	Variazione 2011-2019	Variazione 2015-2019
BL1	7	7	7	7	0	0	0
BL2	6	7	7	7	1	0	0
BL3	3	4	5	6	3	2	1
BL4	5	5	4	5	0	0	1
BL5	6	7	7	7	1	0	0
CA2	5	6	6	6	1	0	0
CA3	6	5	5	5	-1	0	0
CA5	7	7	7	7	0	0	0
CA6	7	7	7	7	0	0	0
CA7	3	7	6	6	3	-1	0
CA10	7	7	7	7	0	0	0
CA11	6	7	7	7	1	0	0
CA14	7	7	5	5	-2	-2	0

Classi IBL (Isocrono et al., 2007)							
Stazione	2007	2011	2015	2019	Variazione 2007-2019	Variazione 2011-2019	Variazione 2015-2019
BL1	7	8	8	8	1	0	0
BL2	6	8	7	7	1	-1	0
BL3	3	4	5	6	3	2	1
BL4	5	5	4	5	0	0	1
BL5	6	8	7	7	1	-1	0
CA2	5	6	6	6	1	0	0
CA3	6	5	5	5	-1	0	0
CA5	7	7	7	7	0	0	0
CA6	8	8	7	7	-1	-1	0
CA7	3	7	6	6	3	-1	0
CA10	8	8	8	8	0	0	0
CA11	6	8	8	8	2	0	0
CA14	7	7	5	5	-2	-2	0

Come già sottolineato nelle precedenti relazioni del 2011 e del 2015, nell'interpretare questi risultati è opportuno considerare anche l'ecologia delle specie, valutando quali siano quelle che maggiormente determinano questo pattern dei valori dell'IBL. In particolare, è da sottolineare che i risultati evidenziano un forte contributo apportato ai valori, in genere elevati, dell'IBL e della ricchezza specifica da parte di specie tipicamente nitrofile delle comunità dello *Xanthorion* in tutte quattro le campagne di monitoraggio (Tabelle 5, 6). In situazioni ambientali analoghe (pianura friulana) Skert & Grahonja (2013) ipotizzano che gli alti valori dell'IBL siano associabili a processi di forte eutrofizzazione collegata all'agricoltura intensiva, piuttosto che ad alti valori di naturalità ambientale. Questo aspetto, legato all'interpretazione dell'IBL in situazioni di eutrofizzazione, è

stato discusso da Loppi & Nascimbene (2010) che illustrano come in questi contesti vi sia il rischio di sovrastimare i valori di IBL in termini di naturalità. L'eutrofizzazione, favorendo l'insediamento e la diffusione di specie nitrofile, potrebbe infatti mascherare l'impatto sulle comunità licheniche epifite di sostanze fitotossiche.

2. PRELIEVO DI CAMPIONI DI LICHENI PER L'ANALISI DEL BIOACCUMULO DI METALLI PESANTI

2.1 - Campionamento dei talli lichenici

Nelle 18 stazioni assegnate (Tabella 10) si è proceduto a prelevare talli del lichene *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. da sottoporre ad analisi di bioaccumulo di metalli pesanti e IPA. Questa specie, a tallo folioso e semplice da identificare, è tra quelle più di frequente utilizzate in studi di bioaccumulo con licheni (si veda ad esempio Loppi, 1999; Tretiach & Baruffo, 2001) ed è la stessa utilizzata nel 2007, 2011 e nel 2015 per questo tipo di indagine. Nel corso della campagna 2019 – così come accaduto nella campagna precedente (2015) è stato necessario sostituire una stazione per l'impossibilità di recuperare la quantità di materiale necessario per le determinazioni analitiche. Se nel 2015 la causa della sostituzione era dovuta all'eccessivo proliferare di coperture di briofite (per il caso della stazione 2), nel caso presente la sostituzione degli alberi è stata determinata da un recente intervento di potatura che ha determinato l'impossibilità di raccogliere sufficiente materiale lichenico nel sito originario. Nello specifico, si tratta della stazione 16 (rif. Via Galantina – Vicomero) sostituita con una nuova stazione (che mantiene la numerazione iniziale) posta nei pressi del sito originario in corrispondenza del parco pubblico presso la rotatoria di Strada San Rocco di Vicomero (Figura 3; con coordinate UTM32 pari a: 604563.7 E, 4970614.7 N).

Tabella 10: Siti per l'analisi del bioaccumulo.

Punto	Area	Indicativo area
Licheni rif.to 1	Agricola interna-zona Pedrignano	CA2
Licheni rif.to 2	Rotonda al termine di Strada Ugozzolo	CA3*
Licheni rif.to 3	Agricolo, strada Veronica incrocio Strada Naviglio	CA4

Punto	Area	Indicativo area
Licheni rif.to 4	Naturale-strada Borghetto	CA5
Licheni rif.to 5	Residenziale- via Verdi c/o Sala civica (San Polo di Torrile)	CA6
Licheni rif.to 6	Industriale-via Moneta c/o sollevamento SPIP	CA8
Licheni rif.to 7	Agricolo area ricadute fascia autostrade- strada Pedrignano fronte civico 19	CA9
Licheni rif.to 8	Industriale-via Ferrari c/o ditta Pagani Pompe-Sorbolo	CA10
Licheni rif.to 9	Agricolo area ricadute fascia autostrade- va Moletolo 169	CA11
Licheni rif.to 10	Residenziale-viale Europa C/o parcheggio Circolo Inzani	CA14
Licheni rif.to 11	Cascina Nuova canale naviglio	-
Licheni rif.to 12	Baganzola	BL1
Licheni rif.to 13-	Case Nuove Campionatore passivo	BL5
Licheni rif.to 14	Strada Ugozzolo 45	-
Licheni rif.to 15	Angolo Via Bacchelli con traversante S. Leonardo	-
Licheni rif.to 16	Parco pubblico presso rotatoria Strada San Rocco	-
Licheni rif.to 17	Loc. Palazzina angolo V. Gorbias con Strada Viazza	-
Licheni rif.to 18	Zona Borghetto Grande - Via Atanasi	-

*la stazione CA3 è stata spostata da Strada Traversante Pedrignano 24 (davanti al magazzino UNICO) alla Rotonda al termine di Strada Ugozzolo.

Il campionamento dei talli 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. Inoltre, il campionamento è avvenuto in giornate rispondenti agli standard meteorologici indicati in Nimis & Bargagli (1999), ovvero in giornate non piovose e non a ridosso di giorni con rilevanti precipitazioni.

In ogni stazione, si sono raccolti 3 campioni su alberi diversi. Su ogni albero i talli sono stati raccolti a diverse altezze (sempre superiori a 1 m per evitare la contaminazione da materiale terrigeno) e a diverse esposizioni. I talli sono stati staccati dall'albero con una lama di acciaio inossidabile e sono stati riposti in capsule petri sterili. Il campionamento è stato eseguito in concomitanza con la caratterizzazione della diversità lichenica, nel periodo 14-22 febbraio 2019. Nello specifico, i campioni CA5, CA6, CA11, BL1, e 16 sono stati raccolti il 14 febbraio, i

campioni CA4, CA14, 11, BL5, 14 e 15 il 15 febbraio, i campioni CA2, CA3, CA8, CA9, e CA10 il 19 febbraio, e i campioni 17 e 18 il 22 febbraio.



2.3 - Preparazione dei campioni per le analisi del bioaccumulo

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 in un mortaio di ceramica. Il peso dei campioni così ottenuti variava tra 800 e 1200 mg. Il materiale polverizzato è stato inserito in stagnola per la determinazione degli IPA e in boccetti vials in HDPE da scintillazione (da 20 ml) per la determinazione dei metalli, e trasferito al laboratorio per le analisi.

3. RISULTATI DELL'ANALISI DEL BIO-ACCUMULO

Le analisi degli inquinanti accumulati nei talli di *Xanthoria parietina* sono state condotte da ARPA Ravenna. Pertanto, per quanto riguarda le metodiche analitiche utilizzate al fine di determinare il contenuto di metalli pesanti e il bioaccumulo di altri inquinanti come IPA, Policlorobifenili, Diossine e Furani si rimanda alle relazioni generali di progetto (*Proposta di monitoraggio ambientale "Post-Operam" (esercizio) per l'anno 2015, Revisione 1, Gennaio 2015, e le successive integrazioni o modifiche*).

I dati acquisiti nell'anno 2019, limitatamente ai metalli pesanti (e nello specifico per Hg, Pb, Ni, Cd, Mn, As, Cr, e Cu), sono stati comparati con le informazioni acquisite nel corso dei monitoraggi precedenti (2007, 2011 e 2015; Tabella 11). Si ricorda che i dati riportati in tabella rappresentano i valori medi di tre misurazioni indipendenti per gli anni 2007 e 2011, mentre per il 2015 e il 2019 si riferiscono ad un unico campione. Per gli IPA, Policlorobifenili, Diossine e Furani si propongono delle comparazioni con i risultati del 2015 e di precedenti studi condotti in condizioni simili (ARPA Lazio 2014).

3.1 – Analisi dei metalli pesanti

Nel presente paragrafo riportiamo i risultati per quanto riguarda i seguenti elementi: Hg, Pb, Ni e Cd, Mn, As, Cr e Cu. I dati relativi a Antimonio, Cobalto, Stagno, Tallio, Vanadio e Zinco totale sono riportati in Allegato 1.

Come evidenziato per il 2011 e il 2015, anche nel corso del 2019 il mercurio (Hg) ha evidenziato concentrazioni sempre inferiori al limite di rilevazione (< 1.5 , 0.2 e 0.13 mg kg^{-1} , rispettivamente per il 2011, 2015 e 2019), mentre nella prima indagine condotta nel 2007 presentava concentrazioni comprese tra 2.0 e 0.1 mg kg^{-1} con un valore medio pari a $0.32 \pm 0.44 \text{ mg kg}^{-1}$ (\pm deviazione standard). Solo le stazioni BL1 e BL5 mostravano valori determinabili nel 2015, rispettivamente pari a 1.1 e 0.3 mg kg^{-1} . A differenza degli anni precedenti di monitoraggio, i dati relativi a Pb, Ni e Cd per il 2019 mostrano una maggiore omogeneità tra stazioni, generalmente caratterizzate da quantità non rilevabili. Solo 7 stazioni, infatti, presentano valori rilevabili (superiori al limite di rilevabilità delle metodiche). In particolare, le concentrazioni più elevate sono state rilevate per le

stazioni CA8 (per Ni e Cd), e CA14(10) e 11 per tutti e tre gli elementi. Solo due sono le stazioni con concentrazioni di Pb rilevabili, pari a 3.8 mg kg^{-1} (11), e 15.1 mg kg^{-1} CA14 (corrispondente a un valore di naturalità media), mentre sono 6 quelle con valori determinanti di Ni, con un picco pari a 13.9 mg kg^{-1} misurato nella stazione CA14 (corrispondente a un valore di alterazione molto alta). Questi risultati confermano quanto rilevato negli anni passati, suggerendo un effetto significativo sui campioni 11 e CA14 di fonti secondarie emettentrici che sono probabilmente rappresentate dalla combustione di carbone e gasolio e dai gas di scarico degli autoveicoli (via Europa, ed area SPIP).

In generale si ha una riduzione sostanziale delle concentrazioni di Pb e Ni rispetto ai rilevamenti precedenti, mentre per quanto riguarda il Cd la situazione sembra essere sostanzialmente invariata. In generale, comunque, risulta impossibile evidenziare delle tendenze o una variabilità tra anni di tipo causale. Analoghi risultati sono stati registrati per quanto riguarda il Mn, sebbene per questo metallo il dato 2019 sia relativamente inferiore rispetto a quanto misurato in precedenza, ad eccezione della stazione CA4 dove abbiamo misurato una concentrazione pari a 109 mg kg^{-1} . Se nel corso della seconda campagna di misure (2011), l'As era risultato sempre determinabile con valori relativamente elevati compresi tra 4.4 e 1.1 mg kg^{-1} , nel 2007 e soprattutto nel 2015 e 2019 risulta indeterminabile, anche se il limite di rilevabilità strumentale è da ritenersi piuttosto elevato (fissato a 2 e 2.5 mg kg^{-1} per il 2015 e 2019, rispettivamente).

In termini assoluti, le differenze più marcate tra anni sono state rilevate per gli elementi Cr e Cu, che mostrano, infatti, una grande variabilità tra anni e stazioni senza mostrare tendenze significative. Cr mostra valori nel 2019 relativamente più bassi (media \pm deviazione standard = $5.7 \pm 4.9 \text{ mg kg}^{-1}$) di quelli del 2015 e 2011, con medie rispettivamente di 9.9 mg kg^{-1} (± 5.4) e 14.9 mg kg^{-1} (± 17.0). Evidenze analoghe sono state raccolte per il Cu che passa da un valore medio di $39.9 \pm 49.4 \text{ mg kg}^{-1}$ del 2011 a $12.4 \pm 9.9 \text{ mg kg}^{-1}$ nel 2019, riducendo di molto la variabilità tra siti. Tali riduzioni confermano le tendenze osservate nel corso dei monitoraggi precedenti. Il Cu entra nei processi produttivi di pesticidi e anticrittogamici, oltre che in diversi impieghi industriali (elettrotecnica e termotecnica), come fonti secondarie vanno ricordati l'uso di combustibili fossili e l'incenerimento di rifiuti. Il Cr è molto usato in metallurgia (cromatura), e nella formulazione di molti composti base per la successiva produzione di vernici, e quindi impiegato nelle concerie, nelle cartiere e nelle tintorie industriali; infine, è impiegato anche per fabbricare insetticidi e fitofarmaci e, quindi, è da ricondurre prioritariamente all'attività agricola.

Tabella 11. Bioaccumulo di metalli pesanti nel lichene *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. Concentrazione in mg kg^{-1} . In rosso sono riportati i dati riferiti alla campagna di biomonitoraggio del 2015 (n.r.: non rivelato, inferiore al limite di rivelazione (0.45 mg kg^{-1}); L: limite di quantificazione per $\text{Hg} = 0.13 \text{ mg kg}^{-1}$; $\text{Pb} = 2.5 \text{ mg kg}^{-1}$; $\text{Cd} = 0.13 \text{ mg kg}^{-1}$; $\text{As} = 2.5 \text{ mg kg}^{-1}$).

RIF	Hg				Pb				Ni				Cd				Mn				As				Cr				Cu			
	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019
CA2	0.3	n.r.	<0.2	<0.13	2.1	3	3.0	<2.5	2.7	3.4	5.9	<2.5	<0.2	<L	<0.5	<0.13	24	31.3	40	23.9	<0.2	2.4	<2	<2.5	2.7	5.7	5.4	3.3	10	9.8	17.9	8.7
CA3	0.1	<L	<0.2	<0.13	2.3	4.4	2.9	<2.5	1.7	6	4.3	<2.5	<0.2	<	<0.5	<0.13	16	38	64.4	22.9	<0.2	3.2	<2	<2.5	2.8	11.4	6	<2.5	8.6	14.5	29.6	9.2
CA4	2.0	<L	<0.2	<0.13	4.2	7.2	2.0	<2.5	3.5	8.9	2.5	3.7	<0.2	0.2	<0.5	<0.13	23	65.8	20.8	31.0	<0.2	4.1	<2	<2.5	6.2	13.3	4.1	5.7	8.6	190	14.1	10.1
CA5	0.2	<L	<0.2	<0.13	2.3	4.4	5.2	<2.5	10	11	8.3	<2.5	<0.2	0.1	<0.5	<0.13	27	37.7	44.3	31.4	<0.2	3	<2	<2.5	8.8	50.2	9.8	3.0	7.3	99.2	14.4	9.1
CA6	0.1	<L	<0.2	<0.13	2.8	2.6	3.8	<2.5	2.1	1.9	8.1	<2.5	<0.2	0.05	<0.5	<0.13	17	19.3	51.9	25.3	<0.2	1.1	<2	<2.5	2.4	2.8	6.3	3.1	6.9	8.2	14.6	8.1
CA8	0.2	<L	<0.2	<0.13	4.1	7.3	6.2	<2.5	4	11.8	12.2	2.7	0.8	0.9	1.9	0.45	20	49.7	45.2	23.0	<0.2	3.2	<2	<2.5	6.9	21	23.8	3.8	9.7	47.4	17.5	7.6
CA9	0.2	<L	<0.2	<0.13	1.4	3	5.0	<2.5	1.1	2.2	6.1	<2.5	<0.2	0.07	<0.5	<0.13	29	28.3	74.7	57.3	<0.2	1.8	<2	<2.5	1.8	3.6	9.6	2.8	12	15.2	17.8	7.1
CA10	0.5	<L	<0.2	<0.13	6	4.6	3.2	<2.5	4.1	8.1	11.6	6.0	<0.2	<L	<0.5	<0.13	26	24.3	27.3	38.5	<0.2	2.3	<2	<2.5	6.6	16.2	23	9.7	9	11.7	16.4	17.0
CA11	0.2	<L	<0.2	<0.13	1.4	4.3	3.0	<2.5	1.5	3.6	4.2	<2.5	<0.2	0.07	<0.5	<0.13	16	28.9	24.8	24.6	<0.2	2.3	<2	<2.5	1.9	5	7.8	3.1	37	77.7	29.0	9.7
CA14	0.3	<L	<0.2	<0.13	3.1	3	3.7	15.1	3	4.2	7.0	13.9	<0.2	0.09	<0.5	0.21	29	24.4	48.9	109	<0.2	2.3	<2	<2.5	3.2	7.7	10.9	20.6	13	10.7	17.9	34.3
11	0.2	<L	<0.2	<0.13	2	2.7	2.4	3.8	1.7	3.2	4.2	4.4	0.2	0.2	<0.5	0.17	19	27.6	26.9	46.6	<0.2	2	<2	<2.5	2.3	43.9	7.6	6.1	8.6	94.2	14.9	12.4
BL1	0.1	n.r.	1.1	<0.13	3.5	2.8	4.8	<2.5	2.1	2.5	5.8	<2.5	1	0.7	0.84	<0.13	20	29	41.9	19.2	0.2	1.8	<2	<2.5	1.3	3.8	10.1	<2.5	9.5	11.9	23.6	6.0
BL5	0.1	n.r.	0.3	<0.13	1.4	3.1	3.3	<2.5	2	4.5	5.4	<2.5	0.3	0.07	<0.5	0.13	20	28.1	26.3	25.9	<0.2	2.3	<2	<2.5	2.2	7.9	8.2	3.2	9.7	14.5	25.2	13.3
14	0.4	<L	<0.2	<0.13	1.6	1.5	2.2	<2.5	2.1	1.8	3.0	<2.5	<0.2	<L	<0.5	0.13	20	20.5	23.2	25.5	<0.2	1.3	<2	<2.5	2.6	2.9	6.1	<2.5	9.1	12.3	64.6	42.1
15	0.1	<L	<0.2	<0.13	2.4	2.2	4.3	<2.5	3.1	2.6	3.8	<2.5	<0.2	0.08	<0.5	<0.13	24	21.2	32.9	16.7	<0.2	<L	<2	<2.5	4	5.1	8.2	<2.5	10	11.3	18.7	7.0
16	0.1	<L	<0.2	<0.13	1.5	<L	2.7	<2.5	1.8	1.2	3.6	<2.5	<0.2	<L	<0.5	<0.13	17	20.3	43.1	22.5	<0.2	<L	<2	<2.5	1.8	1.7	6.1	<2.5	6.7	6.7	12.8	6.7
17	0.2	n.r.	<0.2	<0.13	1.7	2.7	4.9	<2.5	1.3	2.8	4.8	2.8	<0.2	0.1	<0.5	<0.13	17	38.4	43.4	36.3	0.1	1.9	<2	<2.5	1.7	4.8	9	3.9	6.8	8.7	15.7	6.9
18	0.4	<L	<0.2	<0.13	1.7	2	2.8	<2.5	3.5	2.8	4.0	<2.5	<0.2	0.1	<0.5	<0.13	17	31.1	44.9	24.2	0.4	1.7	<2	<2.5	4.5	54.3	6.9	<2.5	8.4	73.3	10.5	7.9

Complessivamente, la situazione qualitativa delle stazioni, valutata in termine di Naturalità/Alterazione, risulta in linea di massima coerente con quanto rilevato nel 2015, anche se c'è una grande variabilità tra metalli: si osserva un miglioramento per quanto riguarda Cd, Cr, Cu, Pb, e Mn; e un peggioramento per As e Hg. Questi risultati sono in sintonia con quelli derivanti dal rilevamento della biodiversità lichenica.

Nelle tabelle seguenti sono riportati: 1) i valori di riferimento per l'interpretazione dei valori di bioaccumulo, così come codificati da Nimis e Bargagli (1999) (Tabella 12); 2) la comparazione tra le classi di Naturalità e Alterazione (sempre *sensu* Nimis e Bargagli, 1999) per ciascuna stazione, per ciascun metallo (Tabella 13), per le quattro stagioni di analisi; 3) il numero di stazioni che per ogni elemento considerato ricadono in ciascuna delle classi di Naturalità/Alterazione (Tabella 14).

Tabella 12. Scala per l'interpretazione dei valori di bioaccumulo nei licheni in termini di Naturalità/Alterazione, secondo Nimis e Bargagli (1999).

Classe	Naturalità/Alterazione	Colori	As	Cd	Cr	Mn	Hg	Ni	Pb	Cu
1	Naturalità molto alta	Blu	<0.2	<0.2	<1.2	<20	<0.07	<1	<4	<7
2	Naturalità alta	Verde scuro	0.6	0.4	2.2	25	0.13	2	10	10
3	Naturalità media	Verde chiaro	1.2	0.8	4.0	35	0.20	3	25	15
4	Naturalità / Alterazione basse	Giallo	1.9	1.4	6.0	60	0.29	5	55	25
5	Alterazione media	Arancione	2.4	2.0	9.0	90	0.42	6	80	34
6	Alterazione alta	Rosso	3.0	2.6	16	140	0.74	8	108	53
7	Alterazione molto alta	Cremisi	>3.0	>2.6	>16	>140	>0.74	>8	>108	>53

Tabella 13. Tabella comparativa tra i tre anni di monitoraggio: per ciascuna stazione è indicata la classe di Naturalità/Alterazione in cui ricade ciascun elemento.

RIF	Hg				Pb				Ni				Cd				Mn				As				Cr				Cu			
	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019
CA2	5	1	3	2	1	1	1	1	3	4	5	3	1	1	2	1	2	3	4	2	1	5	4	5	3	4	4	3	3	2	4	2
CA3	2	1	3	2	1	2	1	1	2	6	4	3	1	1	2	1	1	4	5	2	1	7	4	5	3	6	5	3	2	2	5	2
CA4	7	1	3	2	2	2	1	1	4	7	3	4	1	2	2	1	2	5	2	3	1	7	4	5	5	6	4	4	2	7	3	3
CA5	3	1	3	2	1	2	2	1	7	7	7	3	1	1	2	1	3	4	4	3	1	6	4	5	5	7	6	3	2	7	3	2
CA6	2	1	3	2	1	1	1	1	3	2	7	3	1	1	2	1	1	1	4	3	1	2	4	5	2	3	5	3	1	2	3	2
CA8	3	1	3	2	2	2	2	1	4	7	7	3	3	4	5	3	2	4	4	2	1	7	4	5	5	7	7	3	2	6	4	2
CA9	3	1	3	2	1	1	2	1	2	3	6	3	1	1	2	1	3	3	5	4	1	4	4	5	2	3	6	3	3	4	4	2
CA10	6	1	3	2	2	2	1	1	4	7	7	6	1	1	2	1	3	2	3	4	1	5	4	5	5	7	7	6	2	3	4	4
CA11	3	1	3	2	1	2	1	1	2	4	4	3	1	1	2	1	1	3	2	2	1	5	4	5	2	4	5	3	6	7	5	2
CA14	5	1	3	2	1	1	1	3	4	4	6	7	1	1	2	2	3	2	4	6	1	5	4	5	3	5	6	7	3	3	4	6
11	3	1	3	2	1	1	1	1	2	4	4	4	2	2	2	1	1	3	3	4	1	5	4	5	3	7	5	5	2	7	3	3
BL1	2	1	7	2	1	1	2	1	3	3	5	3	3	2	4	1	2	3	4	1	1	4	4	5	2	3	6	3	2	3	4	1
BL5	2	1	5	2	1	1	1	1	3	4	5	3	2	1	2	1	2	3	3	3	1	5	4	5	2	5	5	3	2	3	5	3
14	5	1	3	2	1	1	1	1	3	2	4	3	1	1	2	1	2	2	2	3	1	4	4	5	3	3	5	3	2	3	7	6
15	2	1	3	2	1	1	2	1	4	3	4	3	1	1	2	1	2	2	3	1	1	1	4	5	3	4	5	3	3	3	4	2
16	2	1	3	2	1	1	1	1	2	2	4	3	1	1	2	1	1	2	4	2	1	1	4	5	2	2	5	3	1	1	3	1
17	3	1	3	2	1	1	2	1	2	2	4	3	1	1	2	1	1	4	4	4	2	4	4	5	2	4	6	3	1	2	4	1
18	5	1	3	2	1	1	1	1	4	3	4	3	1	1	2	1	1	3	4	2	2	4	4	5	4	7	5	3	2	7	3	2

Tabella 14. Tabella sinottica di comparazione tra i quattro anni di monitoraggio (2007, 2011, 2015 e 2019): numero di stazioni che per ogni elemento considerato ricadono in ciascuna delle classi di Naturalità/Alterazione (Nat/Alt; secondo Nimis e Bargagli, 2009).

RIF	Hg				Pb				Ni				Cd				Mn				As				Cr				Cu			
	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019
Naturalità molto alta		18			15	12	12	17					14	14		16	7	1		2	16	2							3	1	0	3
Naturalità alta	6			18	3	6	6		6	4			2	3	16	1	7	5	3	6	2	1			7	1			10	4		9
Naturalità media	6		16					1	5	4	1	14	2			1	4	7	4	5		0			6	4		14	4	6	6	3
Alterazione bassa									6	5	8	2		1	1			4	9	4		5	18		1	4	2	1		1	8	1
Alterazione media	4		1								3				1			1	2			6		18	4	2	9	1		3		0
Alterazione alta	1									1	2	1									1	1			2	5	1	1	1	1		2
Alterazione molto alta	1		1						1	4	4	1										3				5	2	1		5	1	

La situazione più critica riguarda il l'As e il Cr, sebbene quest'ultimo elemento abbia mostrato un miglioramento (con la classe “naturalità media” come più rappresentata, per 14 siti su 18) mentre per gli altri elementi si ha una netta prevalenza di siti in classe di “non alterazione” (da 1 a 3).

Tabella 15. Numero di elementi che per ogni stazione ricadono in ciascuna delle classi di Naturalità/Alterazione.

RIF	C1				C2							C3				C4							C5				C6							C7			
	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019					
CA2	3	3	1	2	1	2	1	3	1	2	1	2	2	0	4	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
CA3	2	4	1	2	1	3	1	3	1	1	1	2	1	0	2	0	0	0	5	1	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0					
CA4	1	2	1	2	2	3	1	1	0	0	3	2	0	1	2	2	1	1	0	1	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0					
CA5	2	3	0	2	1	1	2	2	0	2	2	3	1	0	2	0	0	1	0	1	1	0	1	0	3	1	1	0	0	0	0						
CA6	4	5	1	2	2	1	1	2	2	2	2	3	0	0	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0						
CA8	1	1	0	1	1	3	1	3	1	2	1	3	1	1	3	0	1	0	1	1	0	0	0	0	4	0	2	0	0	0	0						
CA9	3	3	0	2	0	2	3	2	3	3	1	2	2	0	2	1	0	0	1	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0						
CA10	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	2	0	0	1	2	2	1	1	0	1	0	1	0	2	2	0	2	0	0	0	0						
CA11	2	4	1	2	1	2	2	3	1	1	1	2	2	0	2	0	1	0	2	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0						
CA14	3	3	1	0	1	0	1	2	1	4	1	1	1	0	3	0	2	1	0	1	0	0	2	2	0	0	0	0	2	0	0						
11	2	3	1	2	1	3	1	1	1	2	3	1	1	0	2	2	1	0	1	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0						
BL1	2	2	0	4	0	4	1	1	5	2	0	2	1	0	4	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0						
BL5	3	2	1	2	0	5	1	1	2	1	1	4	1	0	1	0	2	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
14	3	3	1	2	2	2	2	1	2	2	2	3	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0						
15	4	3	0	3	1	3	2	2	2	1	2	2	1	1	3	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
16	5	5	1	3	3	3	1	2	0	0	2	2	0	0	3	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
17	3	5	0	3	1	2	2	1	1	1	1	2	3	0	4	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0						
18	3	3	1	2	0	2	1	3	2	0	2	2	1	2	3	0	0	1	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0						

Questo pattern è meglio delineato enucleando il numero di elementi che per ogni stazione ricadono nelle differenti classi di Naturalità/Artificialità (Tabelle 15 e 16). Si osserva, infatti, un generale incremento delle prime due classi (naturalità molto alta e alta), che praticamente raddoppiano la propria rappresentatività tra 2015 e 2019 (da 37 a 72), mentre si ha un dimezzamento di quelle molto alte (alterazione alta e molto alta), da 15 a 7.

Tabella 16. Tabella comparativa tra i quattro anni di monitoraggio: per ciascuna stazione viene riportato il numero di elementi che ricadono rispettivamente nelle prime due classi (Naturalità molto alta/alta) e nelle ultime due classi (Alterazione alta/molto alta).

RIF	Prime 2 classi				Ultime 2 classi			
	2007	2011	2015	2019	2007	2011	2015	2019
CA2	4	4	2	5	0	0	0	0
CA3	7	4	2	5	0	3	0	0
CA4	5	3	3	3	1	4	0	0
CA5	4	3	2	4	1	4	2	0
CA6	7	7	2	4	0	0	1	0
CA8	4	2	1	4	0	4	2	0
CA9	5	3	2	4	0	0	2	0
CA10	4	4	2	3	1	2	2	2
CA11	6	3	3	5	1	1	0	0
CA14	3	4	2	2	0	0	2	4
11	6	3	2	3	0	2	0	0
BL1	6	3	1	5	0	0	2	0
BL5	7	3	2	3	0	0	0	0
14	5	5	3	3	0	0	1	1
15	5	5	2	5	0	0	0	0
16	8	8	2	5	0	0	0	0
17	7	5	2	4	0	0	1	0
18	5	3	2	5	0	2	0	0

Per quanto riguarda le concentrazioni di Hg, è stata osservata una situazione in sostanziale miglioramento (con tutte le 18 stazioni monitorate rientranti nella classe di “Naturalità alta”) rispetto al 2015, quando ben 16 stazioni erano state rilevate in stato di “Naturalità media”, e due stazioni rispettivamente in “Alterazione media e molto alta” (Tabella 15). Questa tendenza è stata confermata anche per il Pb, che vede nel 2019 ben 17 stazioni in “Naturalità molto alta” e una sola in peggioramento (“Naturalità media”, stazione CA14), e per il Ni, per il quale la classe di

“Naturalità media” passa da un numero di stazioni pari a 1 (2015) a 14 (2019). Anche il Cd mostra un miglioramento complessivo, con 16 stazioni in “Naturalità molto alta”. La medesima tendenza alla riduzione numerica delle classi a maggior grado di alterazione è stata rilevata per Mn, Cr e Cu (Tabelle 15 e 16). Unicamente l’As ha mostrato un peggioramento complessivo; ciò però va imputato al limite di determinazione della metodica utilizzata nel 2019, che è pari a 2.5 mg kg^{-1} , e che risulta superiore al limite della classe di “Alterazione media” (pari a 2.4 mg kg^{-1}). Tutte le 18 stazioni monitorate, e classificate in classe “Naturalità/Alterazione bassa” nel 2015, ricadono in “Alterazione media” nel 2019.

3.2 – Analisi degli Idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

Gli IPA, sono composti che vengono prodotti tipicamente nelle combustioni incomplete, e quindi in inceneritori, incendi e motori a scoppio. Nelle Tabelle 16 e 17 riportiamo i valori per gli IPA indagati, che oscillano nel *range* 0.121 e 0.499 mg kg^{-1} , con un valore medio di 0.250 mg kg^{-1} , superiore ai valori misurati nel 2015 (con valore medio di 0.190 mg kg^{-1}). I dati relativi agli idrocarburi $C>12$ sono riportati in Allegato 1. Nel complesso i valori massimi degli IPA non cambiano significativamente, mentre un incremento significativo dei valori minimi è stato rilevato (il minimo passa da 0.040 a 0.121 mg kg^{-1}). A differenza di quanto rilevato nel 2015, i campioni del 2019 mostrano una predominanza degli IPA legati al traffico. I *range* misurati, però, si assestano al di sotto dei valori determinati in campagne di monitoraggio svolte presso siti di smaltimento o inceneritori laziali (ARPA Lazio 2014). Di fatto nel sito non si superano mai concentrazioni totali di circa $500 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$ ($= 0.5 \text{ mg kg}^{-1}$) contro i valori massimi di 761 e $1374 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$ rispettivamente misurati nei pressi del termovalorizzatore di San Vittore del Lazio e della discarica di Malagrotta di Roma. Queste differenze potrebbero tuttavia essere legate al fatto che negli studi in Lazio è stata utilizzata un’altra specie lichenica (*Pseudevernia furfuracea*).

3.3 – Analisi dei Policlorobifenili (PCB)

I PCB sono composti di sintesi utilizzati nel passato come componenti in olii dielettrici e nella composizione di inchiostri, vernici e plastificanti. Nonostante l’elevata tossicità associata sono pochi gli studi sul bio-accumulo che li hanno considerati, tra cui lo studio citato relativamente al termovalorizzatore di San Vittore (ARPA Lazio 2014). Limitatamente ai composti analizzati, le concentrazioni determinate (esprese come ng kg^{-1} ; Tabelle 16 e 17) oscillano nel *range* 0.18 - 2.43 ng g^{-1} , a fronte di valori superiori ai 4600 ng kg^{-1} rilevati nel documento di ARPA Lazio 2014.

Rispetto al 2015 si è osservato un aumento generale dei valori, che passano da una media di 0.28 a 0.84 ng g⁻¹. Anche in questo caso, come per gli IPA, le differenze rilevate con i dati relativi all'effetto del termovalorizzatore di San Vittore potrebbero tuttavia essere legate al fatto che negli studi in Lazio è stata utilizzata un'altra specie lichenica (*Pseudevernia furfuracea*).

Tabella 16. Concentrazioni (mg kg⁻¹) degli IPA, dei PCB (ng g⁻¹) e del Fattore Equivalente di Tossicità = I-TE per diossine e Furani in talli di *X. parietina* per gli anni 2015 e 2019 (per i codici delle stazioni si rimanda al testo).

RIF	IPA		PCB		IT-E	
	2015	2019	2015	2019	2015	2019
CA2	0.090	0.306	0.30	0.90	2.2	2.9
CA3	0.370	0.391	0.60	0.61	1.6	2.7
CA4	0.510	0.499	0.10	0.18	0.5	3.4
CA5	0.050	0.324	<0.10	<0.04	0.8	2.7
CA6	0.080	0.249	<0.10	0.57	0.7	2.2
CA8	0.120	0.208	0.20	1.54	0.5	7.2
CA9	<0.01	0.156	<0.10	1.07	0.4	2.6
CA10	0.280	0.161	0.20	0.94	0.7	3.4
CA11	0.040	0.121	<0.10	0.82	2.4	3.5
CA14	<0.01	0.452	0.30	2.43	0.4	2.2
11		0.16		0.76		2.3
BL1		0.121		0.89		3.0
BL5		0.261		0.96		2.7
14		0.24		0.40		3.2
15		0.191		0.46		2.5
16		0.28		0.55		2.4
17		0.311		0.55		2.7
18		0.157		0.59		2.6

3.4 – Analisi di Diossine e Furani (PCDD, PCDF)

Diossine (PCDD) e Furani (PCDF) sono composti che si possono formare a seguito di combustione di composti organici contenenti cloro nell'inceneritore. I dati misurati evidenziano un bio-accumulo generalizzato (Tabelle 16 e 19). Rispetto al 2015 si è osservato, infatti, un generale aumento del Fattore Equivalente di Tossicità = I-TE, che presenta un valore medio superiore a 3.01 rispetto al valore medio del 2015 pari a 1.02.

	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6	CA8	CA9	CA10	CA11	CA14	11	BL1	BL5	14	15	16	17	18
<i>IPA da traffico</i>																		
Naftalene	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,0022	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Acenaftilene	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Acenaftene	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Fluorene	0,0113	0,0104	0,0076	<0,002	<0,002	0,01	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,0036	<0,002
Fenantrene	0,0905	0,1125	0,1317	0,0424	0,035	0,0706	<0,002	0,0028	<0,002	0,0487	0,0075	<0,002	0,0166	<0,002	0,0046	0,0327	0,0229	<0,002
Antracene	0,0022	0,0022	0,0024	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Fluorantene	0,0764	0,1095	0,137	0,1073	0,0779	0,0514	0,0632	0,0502	0,037	0,113	0,0481	0,0436	0,08	0,0813	0,0639	0,0917	0,0984	0,0499
Pirene	0,0724	0,092	0,1419	0,1065	0,0757	0,0394	0,0577	0,0559	0,0414	0,108	0,0446	0,0549	0,0817	0,0882	0,0753	0,0981	0,1087	0,061
<i>IPA industriali</i>																		
Benzo(a)antracene	0,003	0,0034	0,0039	0,0048	0,0032	<0,002	<0,002	0,0034	0,0028	0,013	0,0037	<0,002	0,0054	0,0058	0,004	0,0051	0,0061	0,0027
Crisene	0,026	0,0359	0,0395	0,0414	0,0354	0,013	0,0297	0,0273	0,0338	0,0474	0,0284	0,0265	0,0357	0,0339	0,0195	0,0327	0,0462	0,036
Benzo(b)+(j)fluorantene	0,0096	0,0126	0,0168	0,013	0,0113	0,0096	0,0096	0,0097	0,0103	0,0324	0,013	0,0088	0,0161	0,0162	0,0091	0,0089	0,0132	0,0127
Benzo(k)fluorantene	0,0029	0,0032	0,0042	0,0029	0,0025	0,0022	0,0022	0,0022	0,0029	0,0099	0,0038	0,0021	0,0049	0,0036	0,0026	0,0021	0,004	0,0033
Benzo(a)pirene	<0,002	<0,002	0,0027	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,0089	<0,002	<0,002	0,0027	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Indeno(1,2,3,c,d)pirene	0,0029	0,0024	0,0039	<0,002	0,0023	0,002	<0,002	0,002	0,0028	0,0123	0,0036	0,0023	0,0045	0,0031	0,0026	<0,002	0,0025	0,0027
Dibenzo(ac)+(ah)antracene	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,0024	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Benzo(ghi)perilene	0,0064	0,0049	0,0069	0,003	0,0048	0,0089	<0,002	0,007	0,0053	0,0508	0,0046	0,0033	0,0138	0,0065	0,0072	0,0039	0,0034	0,0052
Recupero surrogato (p-terfenile)	0,056	0,054	0,054	0,047	0,048	0,044	0,045	0,0448	0,046	0,053	0,048	0,0442	0,052	0,046	0,042	0,038	0,052	0,041
IPA totali	0,306	0,391	0,499	0,324	0,249	0,208	0,156	0,161	0,121	0,452	0,16	0,121	0,261	0,24	0,191	0,28	0,311	0,157

Tabella 17. Concentrazioni (mg kg⁻¹) degli IPA in talli di X. parietina (per i codici delle stazioni si rimanda al testo; in giallo i valori superiori ai limiti di determinabilità dei composti fissati a 0.002 mg kg⁻¹).

	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6	CA8	CA9	CA10	CA11	CA14	11	BL1	BL5	14	15	16	17	18
@#31 + # 28	0,13	0,06	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,1	< 0,04	< 0,04	0,62	< 0,04	< 0,04	0,14	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
@#52	0,12	< 0,04	0,09	0,1	< 0,04	0,3	0,18	0,1	0,15	0,24	0,11	0,14	0,12	0,12	0,08	0,09	0,07	0,14
@#101	< 0,04	0,19	< 0,04	0,14	0,18	0,67	0,31	0,15	0,24	0,33	0,18	0,26	0,24	< 0,04	0,23	0,22	0,23	0,22
@#81	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
@#77	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
@#123	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,06	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
@#118	0,15	< 0,04	< 0,04	0,09	0,16	< 0,04	0,12	0,1	0,14	0,22	0,17	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
@#114	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,04	0,25	< 0,04	< 0,04	0,05	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
@#153 + #168	0,16	0,13	0,07	0,12	0,11	0,19	0,1	0,14	0,04	0,27	0,12	0,17	0,1	0,13	0,08	0,1	0,1	0,11
@#105	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,1	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
@#138	0,16	0,12	< 0,04	0,17	0,12	0,28	0,18	0,19	0,14	0,37	0,18	0,15	0,16	0,15	0,07	0,09	0,09	0,12
@#126	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
@#167 + #128	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,09	0,07	0,05	< 0,04	0,04	< 0,04	< 0,04	0,05	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
@#156	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,06	0,05	< 0,04
@#157	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
@#180 + #193	0,16	0,12	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,15	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,16	0,1	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
@#169	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
@#170	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,07	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
@#189	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
PCB totali su sost. secca	0,9	0,61	0,18	< 0,04	0,57	1,54	1,07	0,94	0,82	2,43	0,76	0,89	0,96	0,4	0,46	0,55	0,55	0,59

Tabella 18. Concentrazioni (ng g⁻¹) dei PCB in talli di *X. parietina* (per i codici delle stazioni si rimanda al testo; in giallo i valori superiori ai limiti di determinabilità dei composti fissati a 0.04 ng g⁻¹).

	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6	CA8	CA9	CA10	CA11	CA14	11	BL1	BL5	14	15	16	17	18
2.3.7.8-T4CDD	< 2,0	< 1,8	< 2,3	< 1,8	< 1,5	< 5,0	< 1,7	2,1	< 1,7	< 1,5	< 1,5	< 2,1	< 1,9	< 1,7	< 1,7	< 1,6	< 1,9	< 1,8
1.2.3.7.8-P5CDD	< 2,0	< 1,8	< 2,3	< 1,8	< 1,5	< 5,0	< 1,7	< 1,2	2,3	< 1,5	< 1,5	< 2,1	< 1,9	< 1,7	< 1,7	< 1,6	< 1,9	< 1,8
1.2.3.4.7.8-H6CDD	< 2,0	< 1,8	< 2,3	< 1,8	< 1,5	< 5,0	< 1,7	< 1,2	< 1,7	< 1,5	< 1,5	< 2,1	< 1,9	< 1,7	< 1,7	< 1,6	< 1,9	< 1,8
1.2.3.6.7.8-H6CDD	< 2,0	< 1,8	< 2,3	< 1,8	< 1,5	< 5,0	< 1,7	< 1,2	< 1,7	< 1,5	< 1,5	< 2,1	< 1,9	< 1,7	< 1,7	< 1,6	< 1,9	< 1,8
1.2.3.7.8.9-H6CDD	< 2,0	< 1,8	< 2,3	< 1,8	< 1,5	< 5,0	< 1,7	< 1,2	< 1,7	< 1,5	< 1,5	< 2,1	< 1,9	< 1,7	< 1,7	< 1,6	< 1,9	< 1,8
1.2.3.4.6.7.8-H7CDD	3,2	< 1,8	2,5	< 1,8	< 1,5	< 5,0	< 1,7	16,4	2,6	< 1,5	< 1,5	< 2,1	< 1,9	5,9	2,3	< 1,6	< 1,9	< 1,8
O8CDD	9,1	< 1,8	5,9	< 1,8	11	34,5	11,5	82,2	3,5	9,1	9,1	8	7,1	9,8	5,2	103,1	< 1,9	41,9
2.3.7.8-T4CDF	< 2,0	< 1,8	2,4	< 1,8	< 1,5	< 5,0	< 1,7	< 1,2	< 1,7	< 1,5	1,9	< 2,1	< 1,9	< 1,7	< 1,7	< 1,6	< 1,9	< 1,8
1.2.3.7.8-P5CDF	< 2,0	< 1,8	< 2,3	< 1,8	< 1,5	< 5,0	< 1,7	< 1,2	< 1,7	< 1,5	< 1,5	< 2,1	< 1,9	< 1,7	< 1,7	< 1,6	< 1,9	< 1,8
2.3.4.7.8-P5CDF	< 2,0	< 1,8	< 2,3	< 1,8	< 1,5	< 5,0	< 1,7	< 1,2	< 1,7	< 1,5	< 1,5	< 2,1	< 1,9	< 1,7	< 1,7	< 1,6	< 1,9	< 1,8
1.2.3.4.7.8-H6CDF	< 2,0	< 1,8	< 2,3	< 1,8	< 1,5	< 5,0	2,5	< 1,2	< 1,7	< 1,5	< 1,5	< 2,1	< 1,9	< 1,7	< 1,7	< 1,6	< 1,9	< 1,8
1.2.3.6.7.8-H6CDF	< 2,0	< 1,8	< 2,3	< 1,8	< 1,5	< 5,0	< 1,7	< 1,2	< 1,7	< 1,5	< 1,5	< 2,1	< 1,9	7,7	< 1,7	< 1,6	< 1,9	< 1,8
2.3.4.6.7.8-H6CDF	< 2,0	2,4	< 2,3	< 1,8	< 1,5	< 5,0	< 1,7	< 1,2	< 1,7	< 1,5	< 1,5	< 2,1	< 1,9	< 1,7	< 1,7	< 1,6	< 1,9	< 1,8
1.2.3.7.8.9-H6CDF	< 2,0	< 1,8	< 2,3	< 1,8	< 1,5	< 5,0	< 1,7	< 1,2	< 1,7	< 1,5	< 1,5	< 2,1	< 1,9	< 1,7	< 1,7	< 1,6	< 1,9	< 1,8
1.2.3.4.6.7.8-H7CDF	< 2,0	< 1,8	< 2,3	10	< 1,5	< 5,0	< 1,7	< 1,2	< 1,7	< 1,5	< 1,5	< 2,1	< 1,9	< 1,7	< 1,7	< 1,6	< 1,9	< 1,8
1.2.3.4.7.8.9-H7CDF	< 2,0	< 1,8	< 2,3	< 1,8	< 1,5	< 5,0	< 1,7	< 1,2	< 1,7	< 1,5	< 1,5	< 2,1	< 1,9	< 1,7	< 1,7	< 1,6	< 1,9	< 1,8
O8CDF	< 2,0	< 1,8	< 2,3	< 1,8	< 1,5	< 5,0	< 1,7	< 1,2	< 1,7	< 1,5	< 1,5	< 2,1	< 1,9	< 1,7	< 1,7	< 1,6	< 1,9	< 1,8
Fattore Equivalente di Tossicità I-TE	2,9	2,7	3,4	2,7	2,2	7,2	2,6	3,4	3,5	2,2	2,3	3	2,7	3,2	2,5	2,4	2,7	2,6

Tabella 19. Concentrazioni (pg g⁻¹) di Diossine e Furani in talli di *X. parietina* e Fattore Equivalente di Tossicità = I-TE (per i codici delle stazioni si rimanda al testo; in giallo i valori superiori ai limiti di determinabilità dei composti nel range <1.5-5.0 pg g⁻¹).

4. CONCLUSIONI

I risultati ottenuti nella campagna di monitoraggio 2019 mediante bioaccumulo evidenziano: una tendenza al miglioramento della qualità dell'aria in funzione delle classi di Naturalità/Alterazione in cui ricade ciascun elemento determinato (rispetto a quanto rilevato nelle tre precedenti campagne di biomonitoraggio nel 2007, 2011 e 2015) e una tendenza al peggioramento in termini di IPA, PCB e Diossine e Furani (rispetto al 2015). Per tutti i metalli pesanti qui discussi, si osserva una riduzione dei valori medi, spesso costantemente inferiori ai limiti di determinabilità (vedi Hg e As). Ne consegue, infatti, un netto miglioramento in termini di classi naturalità (classi 1-2 secondo le classi elaborate da Nimis e Bargagli, 2009). Per quanto riguarda gli altri inquinanti analizzati (IPA, PCB, PCDD e PCDF), i dati relativi al 2019 sono tutti superiori a quanto rilevato nel 2015. A differenza però di quanto misurato nel 2015 per gli IPA, le concentrazioni misurate nel 2019 appaiono molto più probabilmente determinate dal traffico veicolare che da inquinamento industriale.

In ogni caso, al fine di ottenere indicazioni più certe relative alle sorgenti emittitrici di inquinanti sarebbe opportuno predisporre una apposita campagna di rilevamento utilizzando la tecnica degli espianti lichenici (sul modello di quanto fatto per il monitoraggio del termovalorizzatore di San Vittore del Lazio), con uno schema di campionamento esplicitamente ideato per valutare questo tipo di relazione causa-effetto. In tale ottica, si riuscirebbe anche a valutare la variabilità intra-sito delle determinazioni comparandola con quella tra siti. Questo permetterebbe di valutare in modo più oggettivo le eventuali tendenze temporali nelle diverse stazioni nel corso degli anni. Considerando, invece, la diversità lichenica si segnala un incremento dell'incidenza delle specie nitrofile, mentre gli altri indicatori risultano pressoché invariati rispetto alle precedenti campagne.

ALLEGATO 1. BIOACCUMULO DI METALLI PESANTI IN TALLI DI *X. PARIETINA* (CONCENTRAZIONI ESPRESSE IN MG KG⁻¹).

	Antimonio (Sb)	Cobalto (Co)	Stagno (Sn)	Tallio (Tl)	Vanadio (Va)	Zinco (Zn)
CA2	<2,5	<2,5	<2,5	<0,03	<2,5	31,1
CA3	<2,5	<2,5	<2,5	<0,03	<2,5	30,9
CA4	<2,5	<2,5	<2,5	<0,03	3,1	34,8
CA5	<2,5	<2,5	<2,5	<0,03	<2,5	26,6
CA6	<2,5	<2,5	<2,5	<0,03	<2,5	38,6
CA8	<2,5	<2,5	<2,5	<0,03	<2,5	67,3
CA9	<2,5	<2,5	<2,5	<0,03	<2,5	25,8
CA10	<2,5	<2,5	<2,5	<0,03	3	71,5
CA11	<2,5	<2,5	<2,5	<0,03	<2,5	31,8
CA14	<2,5	<2,5	<2,5	0,06	9,2	503
11	<2,5	<2,5	<2,5	0,03	4,2	52,5
BL1	<2,5	<2,5	<2,5	<0,03	<2,5	28,3
BL5	<2,5	<2,5	<2,5	<0,03	<2,5	50,9
14	<2,5	<2,5	<2,5	<0,03	<2,5	94,9
15	<2,5	<2,5	<2,5	<0,03	<2,5	25,9
16	<2,5	<2,5	<2,5	<0,03	<2,5	24,7
17	<2,5	<2,5	<2,5	<0,03	2,8	23,8
18	<2,5	<2,5	<2,5	<0,03	<2,5	25,9

BIBLIOGRAFIA

- ANPA, 2001: I.B.L. Indice di Biodiversità Lichenica. Manuali e Linee Guida 2/2001. 85 pp.
- Asta J., Erhardt W., Ferretti M., Fornasier F., Kirschbaum U., Nimis P.L., Purvis O.W., Pirintsos S., Scheidegger C., Van Haluwyn C., Wirth V., 2002. Mapping lichen diversity as an indicator of environmental quality. In: Nimis P.L., Scheidegger C., Wolseley P.A. (Eds.), *Monitoring with Lichens e Monitoring Lichens*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 273-279.
- ARPA Lazio, 2014. Studio della qualità dell'aria mediante licheni nella zona del termovalorizzatore di San Vittore. Report Aria_03, 38 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.
- Castello M., Skert N., 2005. Evaluation of lichen diversity as an indicator of environmental quality in the North Adriatic submediterranean region. *Science of the Total Environment*, 336: 201-214.
- Cristofolini F., Brunialti G., Giordani P., Nascimbene J., Cristofori A., Gottardini E., Frati L., Matos P., Batič F., Caporale S., Fornasier M. F., Marmor L., Merinero S., Nuñez Zapata J., Törre T., Wolseley P., Ferretti MT., 2014. Towards the adoption of an international standard for biomonitoring with lichens – consistency of assessment performed by experts from six European countries. *Ecological Indicators*, 45: 63-67.
- Frati L., Santoni S., Nicolardi V., Gaggi C., Brunialti G., Guttová A., Gaudino S., Pati A., Pirintsos S. A., Loppi S., 2007. Lichen biomonitoring of ammonia emission and nitrogen deposition around a pig farm. *Environmental Pollution*, 146(2): 311-316.
- Isocrono D., Matteucci E., Ferrarese A., Pensi E. & Piervittori R., 2007. Lichen colonization in the city of Turin (N Italy) based on current and historical data. *Environmental Pollution*, 145: 258-265.
- 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.
- Loppi S., Nascimbene J., 2010. Monitoring H₂S air pollution caused by the industrial exploitation of geothermal energy: the pitfall of using lichens as bioindicators. *Environmental Pollution*, 158: 2635-2639.
- Nimis, P.L., Martellos, S. 2017. ITALIC - The Information System on Italian Lichens. Version 5.0. University of Trieste, Dept. of Biology, (<http://dryades.units.it/italic>)
- 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.
- Skert N., Grahonja R., 2013. Biomonitoraggio tramite licheni come bioindicatori nella regione Friuli-Venezia Giulia, Italia. *Notiziario della Società Lichenologica Italiana*, 23: 58.
- Sparrius L.B., Aptroot A., 2003. *Bacidia adastra*, a new sorediate lichen species from Western Europe. *Lichenologist*, 35: 275-278.
- Tretiaich M., Baruffo L., 2001. Deposizione di metalli nella pedemontana pordenonese. Provincia di Pordenone: 64 pp.