

**Relazione attività 2020 “Monitoraggio A.I.A. EDF-Rendina Ambiente Srl”**

**DGR n°428 del 14 Aprile 2014**



*A cura di:*

*Dott.ssa Dominga Bochicchio*

*Dott. Spartaco Digennaro*

*Dott. Marco Roveri*

*Dott. Achille Palma*

*Il Direttore tecnico scientifico*

*Dott. Achille Palma*



- 1. Introduzione**
- 2. Campionamenti effettuati**
- 3. Risultati**
- 4. Elaborazione statistica dei risultati del biomonitoraggio 2015-2020**
- 5. Considerazioni conclusive**

## 1. Introduzione

Nell'ambito della Autorizzazione Integrata Ambientale (A.I.A)- Piattaforma per il trattamento di rifiuti mediante termovalorizzazione con recupero di energia denominata "ITM-Impianto di termovalorizzazione di Melfi", ubicata in località San Nicola di Melfi (PZ) - deliberata con DGR n°428 del 14 Aprile 2014 i laboratori dell'A.R.P.A.B.-CRM hanno seguito, anche nel corso dell'anno 2020, le attività del Piano di Monitoraggio e Controllo specificate nei seguenti paragrafi:

- **9.3 Biomonitoraggio** mediante la valutazione del bioaccumulo di metalli pesanti nei licheni, nel tarassaco, nella Lemna Minor e nelle api allevate nelle stazioni di biomonitoraggio presenti a Lavello (S3), Impianto (S10), Lamiola (S7), Favullo (S1) e Bizzarro (S11);
- **9.4 Fattorie e campi circostanti** attraverso campionamenti di matrici alimentari sulla base delle disponibilità stagionale di latte, uova, grano su cui è prevista la determinazione di metalli pesanti, IPA, composti organo clorurati e diossine e furani;
- **9.5 Suolo** mediante la valutazione, con cadenza semestrale, di metalli pesanti, diossine, e analisi ecotossicologiche su campioni di top soil (0 ÷ 10 cm) e suolo profondo (- 50 cm) alla distanza rispettivamente di 750 ÷ 1000 ÷ 1500 metri dai camini dell'impianto.

Tali attività sono state seguite nel loro complesso, partendo dal campionamento delle matrici indicate, passando per le analisi effettuate nei nostri laboratori (escluso la determinazione delle diossine che richiedono apparecchiature non in nostro possesso), fino alla redazione della relazione conclusiva.

Le coordinate delle centraline di biomonitoraggio sono quelle riportate nella tabella 1:

Siti di biomonitoraggio		
	Coordinate UPS UTM	
Impianto	560333	4546198
Lamiola	559761	4545062
Bizzarro	558746	4542200
Favullo	563757	4546875
Lavello	564122	4543955

**Tabella 1 - Elenco delle biocentraline e loro coordinate**

Le stazioni di biomonitoraggio sono fatte in modo da esporre per il tempo indicato dalla prescrizione le specie vegetali in cui viene studiato l'accumulo delle sostanze inquinanti. Alcune stazioni sono recintate e

sono previste anche di centraline per il monitoraggio dell'aria, altre invece non è stato possibile recintarle.  
Di seguito una breve descrizione delle stazioni:

1. Impianto ( o Stabilimento) è sita all'interno dell'impianto di termovalorizzazione;



**Figura 1. Stazione di biomonitoraggio Stabilimento**

2. Lamiola è provvista di recinto e di biocentralina per il monitoraggio dell'aria;



**Figura 2. Stazione di biomonitoraggio Lamiola**

3. Bizzarro è recintata ma non è provvista di centralina di monitoraggio dell'aria;



**Figura 3. Stazione di biomonitoraggio Bizzarro**

4. Favullo è sita all'interno di un'azienda di produzione di ghiaia ed è provvista di centralina per il monitoraggio dell'aria;



**Figura 4. Stazione di biomonitoraggio Favullo**

5. Lavello non è recintata e non è provvista di centralina per il monitoraggio dell'aria



**Figura 5. Stazione di biomonitoraggio Lavello**

Nelle tabelle 2, 3 e 4 vengono riportate le attività previste dall'Appendice 7 della prescrizione DGR n°428 del 14 Aprile 2014.

<b>Siti di biomonitoraggio</b>			
<b>Matrici</b>	<b>N° punti</b>	<b>Parametri</b>	<b>Frequenza del controllo</b>
Licheni	5 biocentraline	Metalli pesanti	Trimestrale
Tarassaco (radici e foglie)	5 biocentraline	Metalli pesanti	Trimestrale
Apis mellifera	5 biocentraline	Metalli pesanti IPA	Trimestrale
Lemna Minor	5 biocentraline	Metalli pesanti	Trimestrale

**Tabella 2 – Matrici e parametri da determinare nei siti di biomonitoraggio**

<b>Fattorie e campi circostanti</b>			
<b>Matrici</b>	<b>N° punti</b>	<b>Parametri</b>	<b>Frequenza del controllo</b>
Latte ovino	2 Fattorie circostanti	Metalli pesanti Sostanze organoclorurate	Semestrale
Uova	2 Fattorie circostanti	Diossine e Furani	Annuale
Ortaggi	1 Campo circostante	Metalli pesanti IPA	Trimestrale
Grano	1 Campo circostante	Metalli pesanti	Annuale

**Tabella 3 – Matrici e parametri da determinare nelle fattorie e campi circostanti**

<b>Suolo</b>			
<b>Matrici</b>	<b>N° punti</b>	<b>Parametri</b>	<b>Frequenza del controllo</b>
Terreno	Terreno a 750m di distanza dall'impianto (0/-10cm e -50cm)	Metalli pesanti Diossine Analisi Ecotossicologiche	Semestrale
Terreno	Terreno a 1000m di distanza dall'impianto (0/-10cm e -50cm)	Metalli pesanti Diossine Analisi Ecotossicologiche	Semestrale
Terreno	Terreno a 1500m di distanza dall'impianto (0/-10cm e -50cm)	Metalli pesanti Diossine Analisi Ecotossicologiche	Semestrale

**Tabella 4 – Parametri da determinare sui suoli**

Nella figura 6 viene riportata una cartina in cui è rappresentata l'ubicazione dei punti di campionamento per le varie matrici.

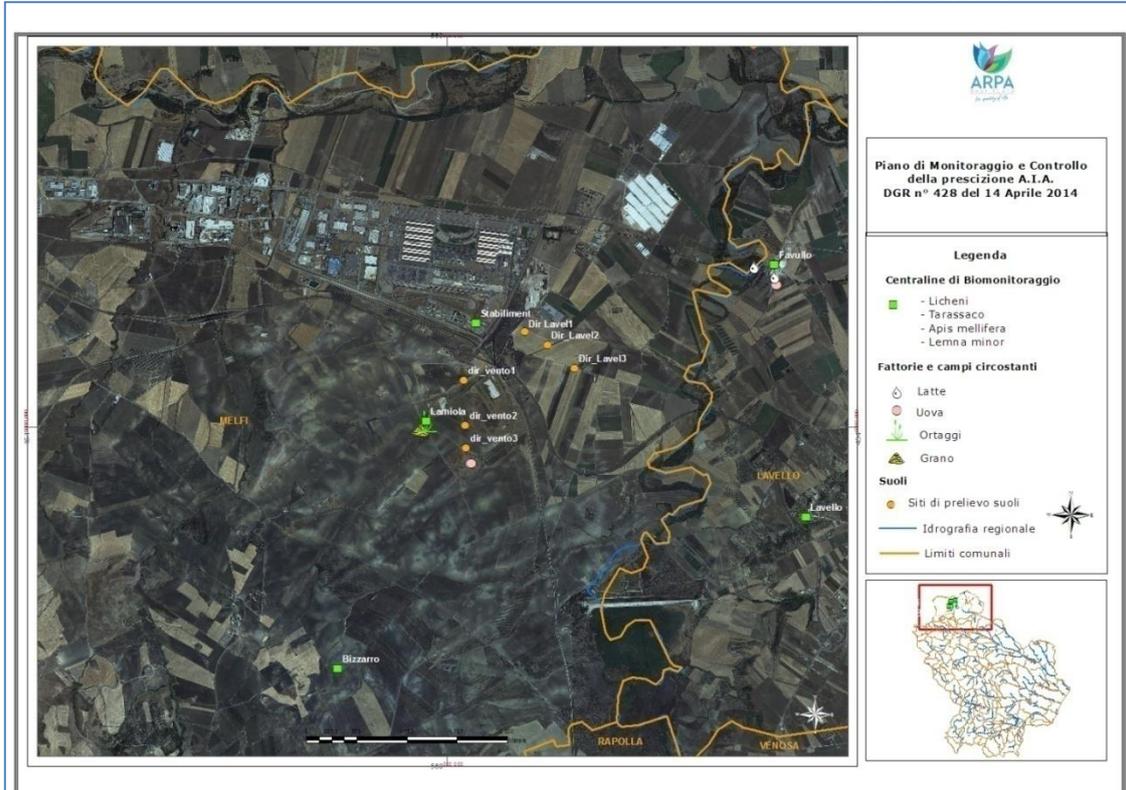


Figura 6. Ubicazione centraline di biomonitoraggio, orto, campioni alimentari e suolo.

## 2. Campionamenti effettuati

Nei seguenti paragrafi viene riportato l'elenco dei campionamenti effettuati per singola matrice nell'anno 2020 secondo quanto previsto dall'Allegato 7 della prescrizione A.I.A.

### a. Paragrafo - 9.3 Biomonitoraggio

Nelle centraline di biomonitoraggio è previsto come riportato nelle tabelle precedenti un controllo trimestrale sulle seguenti matrici: licheni, tarassaco, Lemna Minor e Apis mellifera.

Nella figura 7 viene riportata una cartina in cui è rappresentata l'ubicazione dei punti delle centraline di biomonitoraggio.

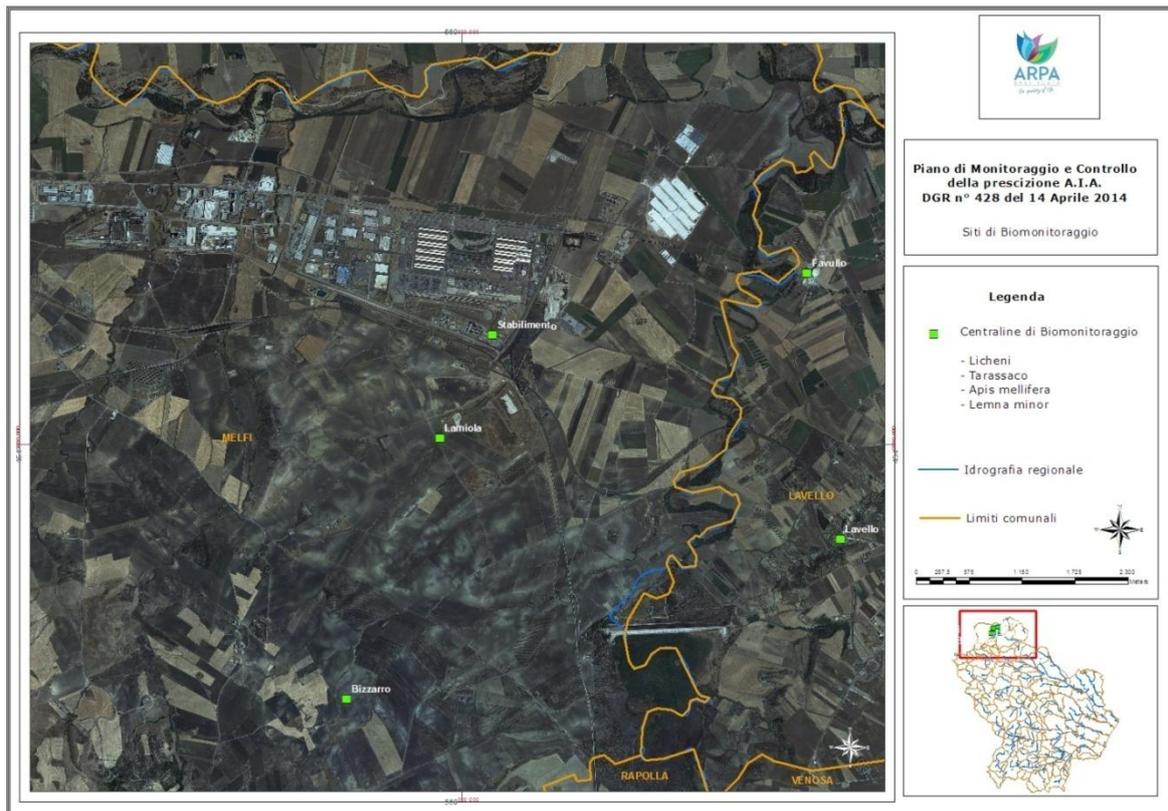


Figura 7. Ubicazione centraline di biomonitoraggio

- **Licheni**

In figura 8 viene mostrato come i campioni di licheni trapiantati della specie *Evernia prunasti* vengono messi a dimora. Il campione indicato come bianco è il campione che viene esposto all'inizio di ogni trimestre, come previsto dalla prescrizione, periodo dopo il quale si effettua il campionamento. Nella tabella 5 vengono riportati i campioni di licheni prelevati per l'anno 2020.



Figura 8 – Trapianti lichenici

Cod lab	Matrice	Data prelievo	Centralina di Biomonitoraggio	Trimestre
15566	lichene	17/10/2019	Bianco	
15588	lichene	23/01/2020	Stabilimento	1
15583	lichene	23/01/2020	Lamiola	
15581	lichene	23/01/2020	Bizzarro	
15587	lichene	23/01/2020	Lavello	
15589	lichene	23/01/2020	Bianco	
15607	lichene	30/04/2020	Stabilimento	2
15595	lichene	30/04/2020	Lamiola	
15592	lichene	30/04/2020	Bizzarro	
15602	lichene	30/04/2020	Lavello	
15605	lichene	30/04/2020	Favullo	
15608	lichene	28/05/2020	Bianco	
15640	lichene	28/07/2020	Stabilimento	3
15637	lichene	28/07/2020	Lamiola	
15636	lichene	28/07/2020	Bizzarro	

15638	lichene	28/07/2020	Lavello	
15639	lichene	28/07/2020	Favullo	
15644	lichene	28/07/2020	Bianco	
15674	lichene	21/10/2020	Stabilimento	4
15667	lichene	21/10/2020	Lamiola	
15666	lichene	21/10/2020	Bizzarro	
15671	lichene	21/10/2020	Lavello	
15670	lichene	21/10/2020	Favullo	

Tabella 5 - Elenco campioni licheni prelevati

Nel campionamento del 23 gennaio 2020 non è stato possibile il prelievo della matrice licheni nella centralina di Favullo (S1) in quanto la stessa era completamente assente all'interno degli appositi contenitori.

- **Tarassaco**

In figura 9 viene mostrato un esempio di campione di tarassaco presente nelle biocentraline, mentre in tabella 6 sono elencati i campionamenti effettuati per l'anno 2020.



Figura 9. Tarassaco

Cod lab	Matrice	Data prelievo	Centralina di Biomonitoraggio	Trimestre
---------	---------	---------------	-------------------------------	-----------

15584	Tarassaco	23/01/2020	Lamiola	1
15582	Tarassaco	23/01/2020	Bizzarro	
15586	Tarassaco	23/01/2020	Lavello	
15585	Tarassaco	23/01/2020	Favullo	
15594	Tarassaco	30/04/2020	Lamiola	2
15591	Tarassaco	30/04/2020	Bizzarro	
15601	Tarassaco	30/04/2020	Lavello	
15604	Tarassaco	30/04/2020	Favullo	
15643	Tarassaco	28/07/2020	Stabilimento	3
15641	Tarassaco	28/07/2020	Lavello	
15642	Tarassaco	28/07/2020	Favullo	
15673	Tarassaco	21/10/2020	Stabilimento	4
15668	Tarassaco	21/10/2020	Lamiola	
15672	Tarassaco	21/10/2020	Lavello	
15669	Tarassaco	21/10/2020	Favullo	

Tabella 6 – Elenco campioni tarassaco

Nel corso delle attività di campionamento del 23 gennaio 2020 non è stato possibile prelevare la matrice tarassaco nella centralina Stabilimento(S10) a causa della mancata disponibilità probabilmente a causa delle avversità atmosferiche. Lo stesso si è verificato nel caso del campionamento del 30 aprile 2020. Nel campionamento del 28 luglio 2020 non è stato possibile prelevare la matrice tarassaco nelle centraline di Lamiola(S7) e Bizzarro(S11) sempre per mancanza di reperibilità della stessa. Lo stesso per la centralina Bizzarro (S11) nel campionamento del 21 ottobre 2020.

- **Apis mellifera**

In figura 10 viene mostrato un esempio di arnia all'interno di una centralina di biomonitoraggio, mentre in tabella 7 viene riportato l'elenco dei campioni prelevati nel 2020 di Apis mellifera e relativi prodotti.



Figura 10. Apis mellifera

Cod lab	Matrice	Data prelievo	Centralina di Biomonitoraggio	Trimestre
15630	cera + miele	25/06/2020	Lamiola	2
15627	API	25/06/2020	Lamiola	
15632	cera + miele	25/06/2020	Bizzarro	
15629	API	25/06/2020	Bizzarro	
15631	Miele	25/06/2020	Favullo	
15628	API	25/06/2020	Favullo	
15633	bianco cera	25/06/2020		3
15653	cera + miele	23/09/2020	Stabilimento	
15648	API	23/09/2020	Stabilimento	
15651	cera + miele	23/09/2020	Lamiola	
15646	API	23/09/2020	Lamiola	
15655	cera + miele	23/09/2020	Bizzarro	
15650	API	23/09/2020	Bizzarro	
15654	cera + miele	23/09/2020	Lavello	
15649	API	23/09/2020	Lavello	
15652	cera + miele	23/09/2020	Favullo	
15647	API	23/09/2020	Favullo	
15656	bianco cera	23/09/2020		

Tabella 7 – Elenco campioni Apis mellifera e relativi prodotti

Il bianco cera è una porzione di telaino da melario non esposto riferibile allo stesso lotto di partenza dei telaini inseriti nelle arnie delle varie centraline. Questo bianco viene analizzato al pari dei campioni prelevati per avere un riferimento a partire dal quale si può capire se gli inquinanti sono accumulati nella matrice.

A causa dello stato di emergenza COVID-19 non è stato possibile procedere al primo campionamento dell'Apis mellifera e relative matrici previsto per il mese di marzo.

Nel campionamento del 25 giugno 2020 non è stato possibile prelevare la matrice Api mellifera e suoi prodotti nella centralina Stabilimento(S10).

Non è stato possibile prelevare i campioni di apis mellifera e relative matrici, cioè api vive miele e cera, afferenti al quarto trimestre del 2020 a causa del clima rigido nel mese di dicembre.

- **Lemna minor**

In figura 11 viene mostrato un esempio di campione di lemna minor messo a dimora nelle biocentraline, mentre in tabella 8 sono riportati i campioni prelevati nel 2020.



Figura 11 - Lemna minor

Cod lab	Matrice	Data prelievo	Centralina di Biomonitoraggio	Trimestre
15590	Lemna	12/02/2020	Bianco	1
15606	Lemna	30/04/2020	Stabilimento	
15593	Lemna	30/04/2020	Lamiola	
15600	Lemna	30/04/2020	Lavello	
15603	Lemna	30/04/2020	Favullo	
15609	Lemna	28/05/2020	Bianco	2
15621	Lemna	24/06/2020	Stabilimento	
15618	Lemna	24/06/2020	Lamiola	
15617	Lemna	24/06/2020	Bizzarro	
15619	Lemna	24/06/2020	Lavello	
15620	Lemna	24/06/2020	Favullo	3
15645	Lemna	26/08/2020	Bianco	
15664	Lemna	24/09/2020	Stabilimento	
15660	Lemna	24/09/2020	Lamiola	
15661	Lemna	24/09/2020	Bizzarro	
15663	Lemna	24/09/2020	Lavello	4
15662	Lemna	24/09/2020	Favullo	
15681	Lemna	19/11/2020	Bianco	
15690	Lemna	16/12/2020	Stabilimento	
15686	Lemna	16/12/2020	Lamiola	
15687	Lemna	16/12/2020	Bizzarro	4
15688	Lemna	16/12/2020	Lavello	
15689	Lemna	16/12/2020	Favullo	

Tabella 8 – Elenco campioni Lemna minor

#### b. Paragrafo - 9.4 Fattorie e campi circostanti

In aggiunta alle centraline di biomonitoraggio la prescrizione A.I.A. prevede un controllo sulle matrici alimentare presenti nei dintorni dell'impianto seguendo la disponibilità stagionale. Tenendo conto che nella zona sono presenti soltanto piccoli allevamenti per lo più per uso familiare, sono state previste matrici di latte ovino, uova, grano e ortaggi. La scelta di matrici derivanti da questo tipo di allevamenti risulta utile per comprendere il reale impatto sulla vita della popolazione del luogo a meno di influenze di altra natura, come potrebbe essere nel caso di attività in cui vengono utilizzati additivi o mangimi di tipo industriale.

Nella figura 12 viene riportata una cartina in cui è rappresentata l'ubicazione dei punti delle matrici delle fattorie e campi circostanti.

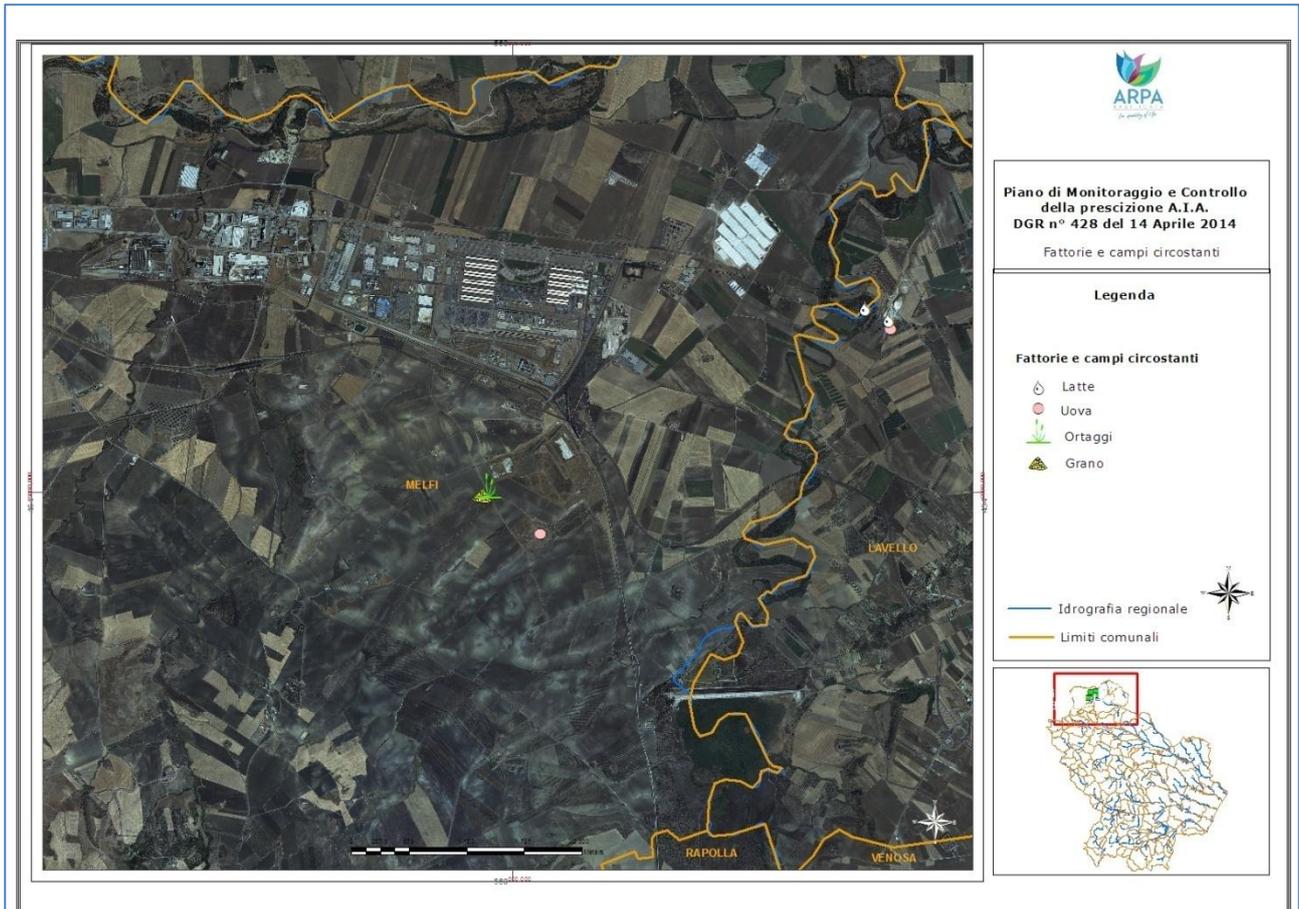


Figura 12. Ubicazioni punti matrici fattorie e campi circostanti

- **Latte ovino**

Per ogni semestre la prescrizione prevede il campionamento di 2 fattorie circostanti, ma ciò non è stato possibile in quanto è mancata la disponibilità di materiale. Gli allevamenti scelti sono a conduzione ed uso familiare ed è, dunque, mancata la quantità sufficiente di materiale per effettuare il prelievo e le successive analisi previste.

Nell'anno 2020 è stato prelevato un solo campione di latte nel primo semestre come riportato il tabella 9. Nel secondo semestre non è stato possibile effettuare alcun campionamento in quanto è mancata appunto la disponibilità.

Cod lab	Matrice	Data prelievo	Fattoria circostante	Campionamento	Note
15634	latte ovino	25/06/2020	contrada Olivento	1	Azienda Di Noia

Tabella 9 - Elenco campioni di latte ovino

- **Uova**

La prescrizione prevede un prelievo di due campioni di uova di gallina con cadenza annuale. Anche in questo caso trattandosi di allevamenti ad uso familiare non è stato possibile reperire due punti di campionamento, pertanto è stato prelevato un solo campione di uova. Il campione prelevato è riportato in tabella 10.

Cod lab	Matrice	Data prelievo	Fattoria circostante	Campionamento
15635	Uova	25/06/2020	Di Noia Giovanni	annuale

Tabella 10 – Elenco dei campioni di uova

- **Ortaggi**

Per il controllo sugli ortaggi anche per l'anno 2020, come era già stato fatto negli anni precedenti, si è proceduto all'allestimento di un piccolo orto all'interno della biocentralina Lamiola. Lw coltivazioni sono state effettuate, come sempre, senza l'ausilio di prodotti fitosanitari e le specie vegetali sono state scelte in modo da avere matrici disponibili ogni trimestre ( anche se questo non è stato sempre possibile). La figura 13 mostra la maniera in cui è stato allestito l'orto.



Figura 13 - Orto allestito nella biocentralina Lamiola

Le specie coltivate all'interno dell'orto sono:

- *Brassica oleracea L (cavolo)*
- Tarassaco
- Indivia
- Bietola

Le specie sono state scelte in funzione di parametri biologici e gestionali, cioè considerando sia l'ambiente pedoclimatico sia la possibilità di coltivazione senza l'utilizzo di prodotti che potessero interferire con i controlli preposti.

I campioni di Ortaggi prelevati nell'anno 2020 sono riportati in tabella 11.

Cod lab	Matrice	Data prelievo	Località	Trimestre
15596	lattuga	30/04/2020	Orto-Lamiola	1
15597	Indivia	30/04/2020	Orto-Lamiola	
15598	bietola	30/04/2020	Orto-Lamiola	
15599	Tarassaco	30/04/2020	Orto-Lamiola	
15622	Tarassaco	24/06/2020	Orto-Lamiola	2
15623	bietola	24/06/2020	Orto-Lamiola	
15624	Brassica	24/06/2020	Orto-Lamiola	
15625	lattuga	24/06/2020	Orto-Lamiola	
15626	Indivia	24/06/2020	Orto-Lamiola	
15657	bietola	24/09/2020	Orto-Lamiola	3
15658	lattuga	24/09/2020	Orto-Lamiola	
15659	Brassica	24/09/2020	Orto-Lamiola	
15682	Brassica	16/12/2020	Orto-Lamiola	4
15683	lattuga	16/12/2020	Orto-Lamiola	
15684	bietola	16/12/2020	Orto-Lamiola	
15685	Indivia	16/12/2020	Orto-Lamiola	

Tabella 11 – Elenco campioni ortaggi

I campionamenti sono stati sempre eseguiti in funzione delle matrici disponibili.

- **Grano**

Per quanto riguarda il grano è previsto un solo campionamento annuale nel periodo di maturazione e quindi tale campionamento viene solitamente effettuato a giugno. Il campione di grano viene solitamente prelevato in un campo che si trova nei pressi della centralina Lamiola. In tabella 12 è riportato il campione prelevato nel 2020.

Cod lab	Matrice	Data prelievo	Fattoria circostante	Campionamento
15616	Grano	11/06/2020	vicino Lamiola	annuale

Tabella 12 – Campione di grano

### c. Paragrafo - 9.5 Suolo

La prescrizione A.I.A. prevede due campionamenti per i suoli nell'arco di un anno. Nel primo semestre i suoli devono essere campionati seguendo la direzione del centro abitato più vicino e che potrebbe quindi maggiormente risentire di eventuali ricadute (Lavello), mentre nel secondo trimestre la direzione è quella prevalente dei venti. In entrambi i casi sono previste distanze crescenti rispetto all'impianto (750-1000-1500m) e due profondità per ogni punto, suolo superficiale da 0 a 10cm e suolo profondo fino a -50cm.

Nella figura 14 viene riportata una cartina in cui è rappresentata l'ubicazione dei punti di campionamento del suolo.

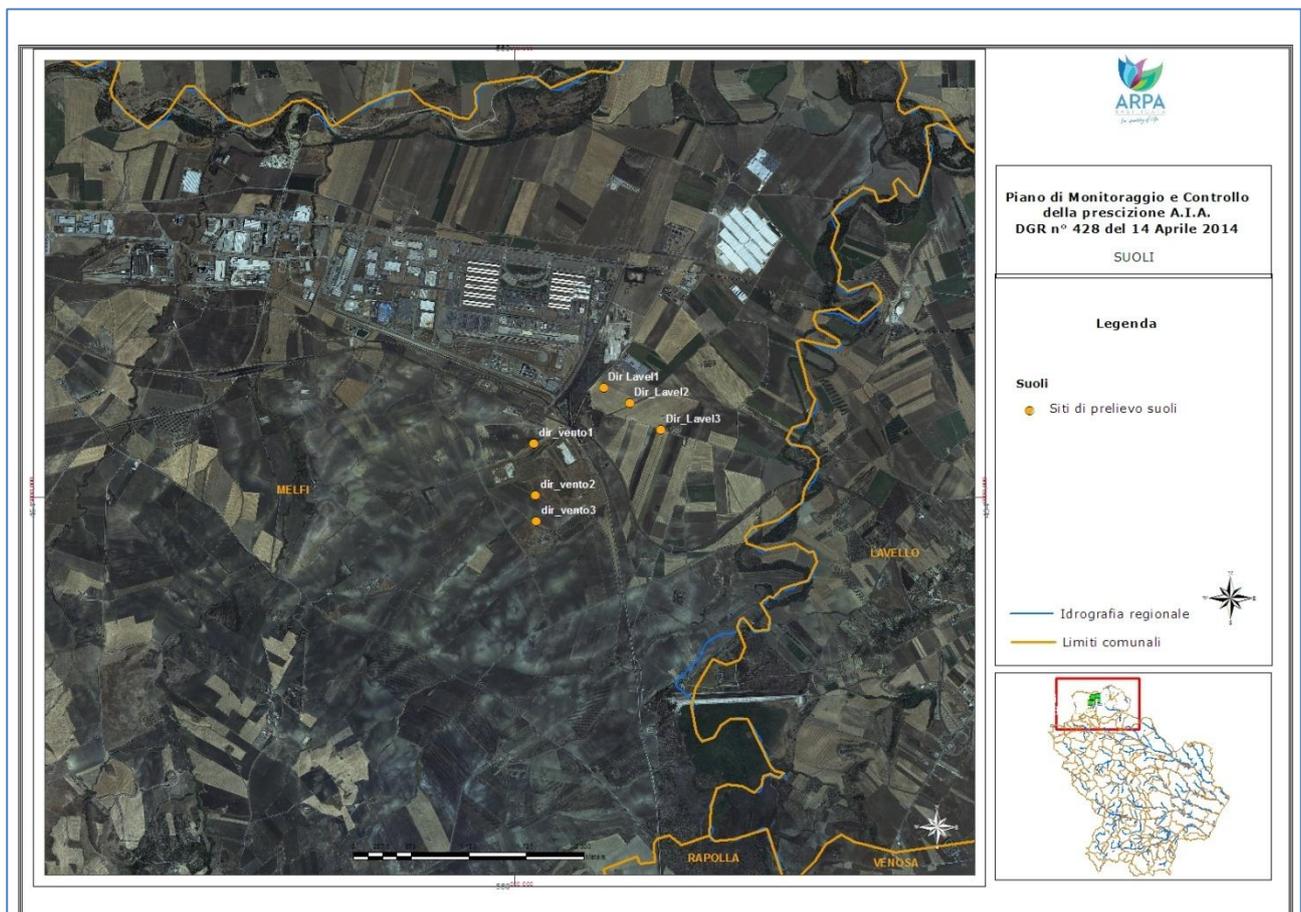


Figura 14. Ubicazione punti di campionamento del suolo

- Suolo

I campioni di suoli prelevati sono riportati in tabella 13.

Cod lab	Matrice	Data prelievo	prof (m)	Distanza (m)	Direzione	Semestre
15610	Suolo	11/06/2020	0-0,1	750	Direzione Lavello	1
15611	Suolo	11/06/2020	0-0,5	750	Direzione Lavello	
15612	Suolo	11/06/2020	0-0,1	1000	Direzione Lavello	
15613	Suolo	11/06/2020	0-0,5	1000	Direzione Lavello	
15614	Suolo	11/06/2020	0-0,1	1500	Direzione Lavello	
15615	Suolo	11/06/2020	0-0,5	1500	Direzione Lavello	
15675	Suolo	19/11/2020	0 - 0,1	700	Direzione venti	2
15676	Suolo	19/11/2020	0 - 0,5	700	Direzione venti	
15677	Suolo	19/11/2020	0 - 0,1	1250	Direzione venti	
15678	Suolo	19/11/2020	0 - 0,5	1250	Direzione venti	
15679	Suolo	19/11/2020	0 - 0,1	1500	Direzione venti	
15680	Suolo	19/11/2020	0 - 0,5	1500	Direzione venti	

Tabella 13 – Elenco dei campioni di suolo

A causa dell'emergenza da COVID-19 non è stato possibile procedere al campionamento del suolo in Direzione Lavello ad aprile come previsto; tale campionamento è stato recuperato l'11 giugno 2020.

### 3. Risultati

In Tabella 14 viene riportato l'elenco dei metodi utilizzati presso i laboratori del CRM per effettuare le determinazioni analitiche nelle matrici prelevate per il Piano di Monitoraggio e Controllo.

Matrice	Parametro	Metodo
Licheni	Metalli pesanti	EPA3051A - EPA6020A
Tarassaco (radici e foglie)	Metalli pesanti	EPA3051A - EPA6020A
Apis mellifera	Metalli pesanti	EPA3051A - EPA6020A
Apis mellifera	IPA	EPA3545 -EPA8270E
Lemna Minor	Metalli pesanti	EPA3051A - EPA6020A
Latte ovino	Metalli pesanti	EPA3051A - EPA6020A
Latte ovino	Sostanze organoclorurate	EPA5030C- EPA8260C
Uova	Diossine e Furani	Analisi effettuata presso IZS
Ortaggi	Metalli pesanti	EPA3051A - EPA6020A
Ortaggi	IPA	EPA3545 -EPA8270E
Terreno	Metalli pesanti	EPA3051A (Solo per Cr(VI) EPA 3060A)- EPA6020A
Terreno	Diossine	Analisi effettuata presso ARPAC
Terreno	Analisi Ecotossicologiche	

Tabella 14. Metodi utilizzati presso il CRM

#### a. Paragrafo - 9.3 Biomonitoraggio

Si riportano di seguito i risultati ottenuti nei campioni prelevati nei siti di biomonitoraggio.

**Licheni** - I risultati dei metalli pesanti determinati nei licheni sono riportati in tabella 15.

Cod lab	Matrice	Data campionamento	Cod est	Trimestre	Metalli	Al mg/Kg ss	As mg/Kg ss	B mg/Kg ss	Ba mg/Kg ss	Be mg/Kg ss	Cd mg/Kg ss	Co mg/Kg ss	Cr(tot.) mg/Kg ss	Cu mg/Kg ss	Fe mg/Kg ss	Hg mg/Kg ss	Mn mg/Kg ss	Ni mg/Kg ss	Pb mg/Kg ss	Sb mg/Kg ss	Se mg/Kg ss	Tl mg/Kg ss	V mg/Kg ss	Zn mg/Kg ss
15566	lichene	17/10/2019	Bianco			363	0,57	6	10	0,02	0,19	0,53	3,3	6,0	789	0,48	216	3,8	4,3	0,2	< 0,5	0,008	1,2	39
15588	lichene	23/01/2020	Stabilimento	1		989	0,57	< 5	14	0,05	0,37	0,37	4,1	7,3	920	0,64	128	6,1	12,7	0,6	< 0,5	0,032	2,3	53
15583	lichene	23/01/2020	Lamiola			836	0,51	< 5	10	0,04	0,29	0,31	3,0	5,5	759	0,48	125	4,8	7,5	0,3	< 0,5	0,022	1,9	41
15581	lichene	23/01/2020	Bizzarro			871	0,52	< 5	10	0,04	0,30	0,26	3,4	6,3	768	0,55	123	4,6	7,7	0,3	< 0,5	0,022	1,9	77
15587	lichene	23/01/2020	Lavello			953	0,52	< 5	11	0,05	0,31	0,31	3,1	6,1	848	0,51	135	5,0	9,0	0,3	< 0,5	0,026	2,0	43
15589	lichene	23/01/2020	Bianco			925	0,64	< 5	8	0,04	0,31	0,39	4,7	6,2	1004	0,69	95	6,6	25	0,4	< 0,5	0,023	2,3	46
15607	lichene	30/04/2020	Stabilimento	2		1100	0,69	< 5	13	0,06	0,41	0,47	5,0	7,7	1082	0,71	99	7,1	19	0,8	< 0,5	0,036	2,7	57
15595	lichene	30/04/2020	Lamiola			903	0,54	< 5	8	0,04	0,25	0,34	3,4	5,5	814	0,55	93	5,0	10,1	0,3	< 0,5	0,024	2,0	43
15592	lichene	30/04/2020	Bizzarro			1283	0,71	< 5	14	0,06	0,38	0,43	4,8	7,4	1176	0,74	91	7,3	12	0,5	< 0,5	0,034	3,0	146
15602	lichene	30/04/2020	Lavello			974	0,52	< 5	10	0,05	0,31	0,33	3,2	6,0	834	0,67	99	5,0	10,7	0,3	< 0,5	0,030	2,1	43
15605	lichene	30/04/2020	Favullo			1398	1,01	< 5	14	0,08	0,28	0,44	3,9	10,7	1152	0,50	85	6,0	9,7	0,6	< 0,5	0,035	2,9	56
15608	lichene	28/05/2020	Bianco			674	0,47	< 5	6	0,03	0,20	0,26	2,9	4,9	651	0,56	115	3,9	6,1	0,3	< 0,5	0,021	1,4	32
15640	lichene	28/07/2020	Stabilimento	3		997	0,56	< 5	12	0,03	0,09	0,25	3,6	6,7	972	0,29	119	4,7	5,3	0,4	< 0,5	0,010	2,0	38
15637	lichene	28/07/2020	Lamiola			960	0,57	< 5	12	0,04	0,13	0,26	2,9	6,4	860	0,31	116	4,4	3,9	0,3	< 0,5	0,014	2,0	39
15636	lichene	28/07/2020	Bizzarro			1100	0,67	< 5	14	0,05	0,16	0,31	4,3	8,8	1063	0,42	156	6,1	8,8	0,4	< 0,5	0,014	2,5	68
15638	lichene	28/07/2020	Lavello			883	0,51	< 5	12	0,04	0,11	0,22	2,9	6,9	804	0,28	150	4,4	3,3	0,2	< 0,5	0,011	1,7	36
15639	lichene	28/07/2020	Favullo			1258	0,74	< 5	16	0,07	0,11	0,32	3,3	9,2	1029	0,27	113	4,7	5,1	0,3	< 0,5	0,019	2,4	41
15644	lichene	28/07/2020	Bianco			1145	0,66	< 5	12	0,03	0,16	0,27	4,6	5,9	1198	0,31	139	6,5	8,2	0,3	< 0,5	0,012	2,4	41
15674	lichene	21/10/2020	Stabilimento	4		1573	0,57	< 5	18	0,05	0,13	0,34	4,7	7,5	1296	0,28	156	6,4	8,0	0,4	< 0,5	0,014	3,0	53
15667	lichene	21/10/2020	Lamiola			1685	0,59	< 5	17	0,06	0,11	0,34	4,2	7,2	1269	0,27	148	6,2	6,4	0,2	< 0,5	0,015	3,3	49
15666	lichene	21/10/2020	Bizzarro			1658	0,65	< 5	21	0,06	0,15	0,33	4,8	8,6	1310	0,29	146	6,7	9,1	0,3	< 0,5	0,016	3,5	90
15671	lichene	21/10/2020	Lavello			1436	0,55	< 5	17	0,05	0,14	0,29	3,5	7,4	1097	0,27	159	5,3	4,6	0,2	< 0,5	0,013	2,6	50
15670	lichene	21/10/2020	Favullo			1886	0,75	< 5	20	0,08	0,12	0,42	4,5	10,0	1403	0,26	142	6,5	5,5	0,3	< 0,5	0,019	3,5	57

Tabella 15. Metalli pesanti nei licheni

**Tarassaco** - I risultati dei metalli pesanti determinati nel tarassaco sono riportati in tabella 16.

Cod lab	Matrice	Data prelievo	Centralina di Biomonitoraggio	Trimestre	Note	Metalli pesanti	Al mg/Kg ss	As mg/Kg ss	B mg/Kg ss	Ba mg/Kg ss	Be mg/Kg ss	Cd mg/Kg ss	Co mg/Kg ss	Cr(tot.) mg/Kg ss	Cu mg/Kg ss	Fe mg/Kg ss	Hg mg/Kg ss	Mn mg/Kg ss	Ni mg/Kg ss	Pb mg/Kg ss	Sb mg/Kg ss	Se mg/Kg ss	Tl mg/Kg ss	V mg/Kg ss	Zn mg/Kg ss
15584	Tarassaco	23/01/2020	Lamiola	1	foglie		312	0,12	41	10	0,023	0,164	0,094	0,57	12,58	204	<0,05	32	1,1	0,41	<0,1	<0,5	0,017	0,7	46
15584	Tarassaco	23/01/2020	Lamiola		radici		377	0,18	11	9	0,031	0,089	0,118	0,60	16,66	235	<0,05	27	1,4	0,40	<0,1	<0,5	0,036	2,7	26
15582	Tarassaco	23/01/2020	Bizzarro		foglie		97	0,06	26	16	0,007	0,132	0,050	0,29	14,83	72	<0,05	16	0,8	0,25	<0,1	<0,5	0,014	0,2	54
15582	Tarassaco	23/01/2020	Bizzarro		radici		149	0,07	12	20	0,010	0,099	0,054	0,39	19,98	120	<0,05	33	1,2	0,21	<0,1	<0,5	0,024	1,1	38
15586	Tarassaco	23/01/2020	Lavello		foglie		99	0,28	47	12	0,009	0,409	0,090	0,27	17,59	77	<0,05	32	0,8	0,42	<0,1	<0,5	0,009	0,4	105
15586	Tarassaco	23/01/2020	Lavello		radici		107	0,12	9	7	0,008	0,156	0,059	0,38	15,46	97	<0,05	22	1,2	0,35	<0,1	<0,5	0,008	0,6	31
15585	Tarassaco	23/01/2020	Favullo		foglie		310	0,25	27	10	0,022	0,214	0,107	0,53	10,80	215	<0,05	50	1,0	0,43	<0,1	<0,5	0,016	0,7	64
15585	Tarassaco	23/01/2020	Favullo		radici		307	0,17	12	6	0,026	0,098	0,107	0,65	12,62	219	<0,05	30	1,5	0,42	<0,1	<0,5	0,016	1,5	28
15594	Tarassaco	30/04/2020	Lamiola	2	foglie		239	0,26	20	19	0,019	0,291	0,091	0,82	10,03	169	<0,05	35	1,3	0,49	<0,1	<0,5	0,016	0,5	58
15594	Tarassaco	30/04/2020	Lamiola		radici		668	0,38	9	14	0,052	0,092	0,166	1,08	9,69	411	<0,05	20	1,7	0,62	<0,1	<0,5	0,038	2,2	31
15591	Tarassaco	30/04/2020	Bizzarro		foglie		205	0,14	20	22	0,020	0,273	0,094	0,42	13,18	177	<0,05	33	1,0	0,45	<0,1	<0,5	0,029	0,6	47
15591	Tarassaco	30/04/2020	Bizzarro		radici		268	0,12	10	19	0,019	0,173	0,075	0,52	17,82	172	<0,05	21	1,1	0,43	<0,1	<0,5	0,045	1,8	29
15601	Tarassaco	30/04/2020	Lavello		foglie		188	0,25	19	11	0,012	1,098	0,128	0,34	22,26	147	<0,05	116	2,2	0,45	<0,1	<0,5	0,006	0,4	97
15601	Tarassaco	30/04/2020	Lavello		radici		297	0,23	7	9	0,019	0,283	0,117	0,61	13,15	188	<0,05	24	1,2	0,80	<0,1	<0,5	0,012	2,6	24
15604	Tarassaco	30/04/2020	Favullo		foglie		198	0,79	20	7	0,013	0,258	0,077	0,37	10,48	159	<0,05	43	0,8	0,32	<0,1	<0,5	0,026	0,5	61
15604	Tarassaco	30/04/2020	Favullo		radici		175	0,26	9	4	0,018	0,112	0,062	0,35	10,08	114	<0,05	22	0,6	0,36	<0,1	<0,5	0,027	1,0	22
15643	Tarassaco	28/07/2020	Stabilimento	3	foglie		448	0,19	25	32	0,027	0,143	0,126	0,95	14,38	314	<0,05	93	2,4	0,56	<0,1	<0,5	0,017	1,1	42
15643	Tarassaco	28/07/2020	Stabilimento		radici		623	0,24	12	11	0,035	0,128	0,195	1,58	20,43	476	<0,05	45	3,1	0,37	<0,1	<0,5	0,013	2,2	29
15641	Tarassaco	28/07/2020	Lavello		foglie		619	0,85	12	8	0,033	0,159	0,175	1,46	19,33	532	<0,05	77	3,0	0,73	<0,1	<0,5	0,012	1,8	76
15641	Tarassaco	28/07/2020	Lavello		radici		252	0,21	7	5	0,011	0,113	0,065	1,01	14,77	216	<0,05	31	1,6	0,29	<0,1	<0,5	0,005	1,4	37
15642	Tarassaco	28/07/2020	Favullo		foglie		214	0,48	17	4	0,014	0,119	0,045	0,53	11,20	170	<0,05	52	1,2	0,26	<0,1	<0,5	0,013	0,5	37
15642	Tarassaco	28/07/2020	Favullo		radici		226	0,21	9	3	0,014	0,079	0,061	0,52	13,20	161	<0,05	35	1,1	0,20	<0,1	<0,5	0,015	1,0	28
15673	Tarassaco	21/10/2020	Stabilimento	4	foglie		ND	0,58	16	9	0,121	0,112	0,283	2,60	14,34	ND	<0,05	50	4,6	0,83	<0,1	<0,5	0,050	3,6	48

15673	Tarassaco	21/10/2020	Stabilimento	radici		784	0,38	19	11	0,049	0,277	0,248	2,35	29,50	641	<0,05	30	3,5	0,58	<0,1	<0,5	0,038	3,6	52
15668	Tarassaco	21/10/2020	Lamiola	foglie		1021	0,30	17	6	0,067	0,143	0,189	1,20	15,61	627	<0,05	42	3,2	0,46	<0,1	<0,5	0,038	1,9	43
15668	Tarassaco	21/10/2020	Lamiola	radici		383	0,22	15	5	0,022	0,293	0,143	1,26	34,29	366	<0,05	22	2,8	0,31	<0,1	<0,5	0,042	1,7	43
15672	Tarassaco	21/10/2020	Lavello	foglie		225	0,12	13	2	0,010	0,159	0,091	0,40	16,67	203	<0,05	32	2,3	0,20	<0,1	<0,5	0,006	0,5	56
15672	Tarassaco	21/10/2020	Lavello	radici		452	0,23	13	6	0,020	0,243	0,144	2,29	38,26	513	<0,05	29	2,9	0,42	<0,1	<0,5	0,017	1,7	51
15669	Tarassaco	21/10/2020	Favullo	foglie		358	0,33	17	3	0,020	0,208	0,105	0,61	16,07	265	<0,05	28	2,4	0,24	<0,1	<0,5	0,018	0,8	49
15669	Tarassaco	21/10/2020	Favullo	radici		441	0,38	17	5	0,021	0,361	0,185	1,70	36,52	434	<0,05	27	3,2	0,35	<0,1	<0,5	0,047	2,0	52

Tabella 16. Metalli pesanti nel tarassaco

**Apis mellifera** - I risultati degli IPA per le API , il miele e le cere in Apis mellifera sono riportati rispettivamente in tabella 17, 18 e 19. Si tenga conto che i dati per le api si riferiscono alla sostanza secca mentre per il miele si riferiscono alla matrice tal quale. I dati dei metalli pesanti per le api ed il miele sono riportati rispettivamente in tabella 20 e 21.

Cod lab	Matrice	Data prelievo	Località	Trimestre	Naftalene ug/kg	acenaftilene ug/kg	Acenaftene ug/kg	Fluorene ug/kg	Fenantrene ug/kg	Antracene ug/kg	Fluorantene ug/kg	Pirene ug/kg	Benz(a)antracene ug/kg	Crisene ug/kg	Indeno(1,2,3-cd)pirene ug/kg	Dibenzo(a,h)antracene ug/kg	Benzo(g,h,i)perilene ug/kg	1-Methylnaphthalene	2-Metilmftalene ug/kg	Benzo(b+)fluorantene ug/kg	Benzo(k)fluorantene ug/kg	Benzo(e)pirene	Benzo(a)pirene ug/kg	Perylene	Dibenzo(a,e)pirene	DIBenzo(a,h)Pirene	DIBenzo(a,j)Pirene	Dibenzo(a,i)pirene	
15627	api	25/06/2020	Lamiola	2	<10	<0.5	1,22	0,68	3,78	<0.5	<0.5	1,00	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0,583	<10	<10	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<1	<1	<1	<1	
15629	api	25/06/2020	Bizzarro		<10	<0.5	1,76	0,88	4,53	0,69	<0.5	2,256	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<10	<10	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<1	<1	<1	<1	
15628	api	25/06/2020	Favullo		<10	<0.5	1,48	<0.5	5,99	0,53	1,64	5,31	<0.5	<0.5	2,38	<0.5	2,51	<10	<10	1,18	<0.5	3,04	2,11	0,63	1,26	<1	<1	<1	<1
15648	api	23/09/2020	Stabilimento	3	<10	0,88	<0.5	1,60	7,57	0,92	2,68	9,69	1,12	1,09	2,36	0,75	10,90	<10	<10	2,19	<0.5	12,56	3,23	6,08	3,26	<1	<1	<1	<1
15646	api	23/09/2020	Lamiola		10,24	1,14	<0.5	1,90	18,29	1,35	10,03	30,85	1,04	<0.5	1,08	0,57	1,24	12,14	<10	1,29	<0.5	0,87	0,61	<0.5	<1	<1	<1	<1	<1
15650	api	23/09/2020	Bizzarro		<10	0,70	<0.5	1,10	6,44	0,89	2,71	6,78	0,95	0,57	1,18	0,60	1,51	<10	<10	1,45	<0.5	1,40	0,67	<0.5	<1	<1	<1	<1	<1
15649	api	23/09/2020	Lavello		<10	0,86	<0.5	1,57	10,97	1,20	8,28	57,44	2,57	3,90	32,57	1,56	45,12	<10	<10	10,91	2,76	37,66	38,64	12,56	14,95	<1	<1	<1	<1
15647	api	23/09/2020	Favullo		10,02	1,00	<0.5	1,80	9,01	1,12	3,00	11,32	1,04	0,58	2,45	0,67	6,33	11,16	<10	2,07	<0.5	6,56	2,09	71,44	1,87	<1	<1	<1	<1

Tabella 17. IPA in Apis mellifera - API

Cod lab	Matrice	Data prelievo	Località	Trimestre	Naftalene ug/kg	acenaftilene ug/kg	Acenaftene ug/kg	Fluorene ug/kg	Fenantrene ug/kg	Antracene ug/kg	Fluorantene ug/kg	Pirene ug/kg	Benz(a)antracene ug/kg	Crisene ug/kg	Indeno(1,2,3-cd)pirene ug/kg	Dibenzo(a,h)antracene ug/kg	Benzo(g,h,i)perilene ug/kg	1-Methylnaphthalene ug/kg	2-Metinaftalene ug/kg	Benzo(b)fluorantene ug/kg	Benzo(k)fluorantene ug/kg	Benzo(e)pirene ug/kg	Benzo(a)pirene ug/kg	Perylene	Dibenzo(a,e)pirene	Dibenzo(a,h)Pirene	Dibenzo(a,i)Pirene	Dibenzo(a,l)pirene
15630	Miele	25/06/2020	Lamiola	2	10,31	<1	<1	<1	<1	<1	0,21	0,23	0,23	0,16	0,28	0,10	0,31	<10	<10	0,25	0,13	0,21	0,17	0,13	0,35	0,41	0,50	0,22
15632	Miele	25/06/2020	Bizzarro		<10	<1	<1	<1	<1	<1	0,18	0,20	0,16	0,14	0,26	0,10	0,24	<10	<10	0,24	0,13	0,16	0,23	0,13	<0,1	<0,1	<0,1	0,19
15631	Miele	25/06/2020	Favullo		10,00	<1	<1	<1	1,12	<1	0,23	0,24	0,23	0,15	0,25	0,10	0,24	<10	<10	0,24	0,13	0,16	0,16	0,13	<0,1	<0,1	<0,1	0,19
15653	Miele	23/09/2020	Stabilimento	3	16,49	<1	2,68	1,31	5,22	<1	0,61	1,69	0,12	0,29	0,16	<0,1	0,22	23,10	<10	0,21	<0,1	0,24	<0,1	<0,1	0,13	0,30	0,10	0,23
15651	Miele	23/09/2020	Lamiola		<10	<1	1,43	<1	5,50	<1	0,82	0,86	0,10	<0,1	0,17	<0,1	0,25	18,31	<10	0,15	<0,1	0,16	<0,1	<0,1	0,11	0,32	0,10	0,11
15655	Miele	23/09/2020	Bizzarro		20,14	<1	2,65	2,38	8,68	<1	1,19	1,29	0,11	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	28,77	<10	0,11	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
15654	Miele	23/09/2020	Lavello		11,92	<1	1,98	<1	2,44	<1	0,22	0,20	<0,1	<0,1	0,10	<0,1	<0,1	19,86	<10	0,11	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,11	<0,1
15652	Miele	23/09/2020	Favullo		15,47	<1	2,08	<1	2,70	<1	0,31	0,47	<0,1	<0,1	0,27	<0,1	0,53	16,39	<10	0,18	<0,1	0,51	<0,1	<0,1	0,20	0,12	0,11	0,19

Tabella 18. IPA in Apis mellifera -MIELE

Cod lab	Matrice	Data prelievo	Località	Trimestre	Naftalene ug/kg	acenaftilene ug/kg	Acenaftene ug/kg	Fluorene ug/kg	Fenantrene ug/kg	Antracene ug/kg	Fluorantene ug/kg	Pirene ug/kg	Benz(a)antracene ug/kg	Crisene ug/kg	Indeno(1,2,3-cd)pirene ug/kg	Dibenzo(a,h)antracene ug/kg	Benzo(g,h,i)perilene ug/kg	1-Methylnaphthalene ug/kg	2-Metinaftalene ug/kg	Benzo(b)fluorantene ug/kg	Benzo(k)fluorantene ug/kg	Benzo(e)pirene ug/kg	Benzo(a)pirene ug/kg	Perylene	Dibenzo(a,e)pirene	Dibenzo(a,h)Pirene	Dibenzo(a,i)Pirene	Dibenzo(a,l)pirene
15630	Cera	25/06/2020	Lamiola	2	<10	1,82	2,27	3,10	6,07	2,08	2,55	2,76	2,42	1,86	2,70	1,03	2,66	<10	<10	2,74	1,36	1,82	1,87	1,31	3,74	5,33	4,83	2,35
15632	Cera	25/06/2020	Bizzarro		<10	1,92	2,32	3,45	7,60	2,47	3,27	4,20	2,68	3,70	3,24	1,08	3,85	<10	<10	3,83	1,49	3,42	2,78	1,95	5,48	9,15	8,75	4,14
15631	Cera	25/06/2020	Favullo		<10	1,85	2,36	3,72	7,23	2,25	3,05	3,28	2,62	2,45	3,11	1,07	3,57	<10	<10	3,18	1,48	2,51	2,38	1,34	4,94	7,95	7,52	3,63
15633	Cera	25/06/2020	bianco	<10	2,35	4,40	13,98	46,37	5,63	16,84	18,35	6,19	28,51	10,36	3,31	19,53	<10	<10	17,82	4,10	27,58	9,86	151,30	33,40	70,22	71,61	25,54	
15653	Cera	23/09/2020	Stabilimento	3	21,17	2,18	2,23	6,75	30,76	2,61	6,54	11,02	2,77	8,37	5,83	1,94	7,33	31,46	14,87	9,18	2,01	6,82	1,96	0,72	2,28	1,37	1,22	5,98
15655	Cera	23/09/2020	Bizzarro		<10	1,10	2,04	4,47	25,72	1,61	4,46	5,32	1,68	1,06	2,34	0,72	3,22	13,75	<10	2,39	0,93	2,28	0,98	<0,5	1,39	1,11	1,39	1,84
15654	Cera	23/09/2020	Lavello		23,00	1,25	1,66	3,63	15,23	1,45	3,29	3,82	1,28	0,62	1,17	0,61	1,28	94,65	42,61	1,68	0,64	0,83	0,74	<0,5	<1	1,41	1,02	<1
15656	Cera	23/09/2020	bianco		<10	1,75	2,67	15,61	49,68	4,23	15,00	12,34	2,65	1,91	3,22	0,79	6,29	11,81	<10	3,30	1,20	4,49	1,70	1,50	2,22	1,36	1,41	2,20

Tabella 19. IPA in Apis mellifera - CERIE

Cod lab	Matrice	Data prelievo	Centralina di Biomonitoraggio	Trimestre	Metalli pesanti	Al mg/Kg	As mg/kg	B mg/kg	Ba mg/kg	Be mg/kg	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr(tot.) mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Hg mg/kg	Mn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sb mg/kg	Se mg/kg	Tl mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
15627	API	25/06/2020	Lamiola	2		29	0,04	<5	1,8	<0,005	0,023	0,043	0,1	16,2	167	<0,05	63	0,90	<0,05	<0,1	<0,5	<0,005	<0,05	72
15629	API	25/06/2020	Bizzarro			23	0,04	<5	2,0	<0,005	0,023	0,046	0,5	16,9	177	<0,05	64	0,84	<0,05	<0,1	<0,5	<0,005	0,06	80
15628	API	25/06/2020	Favullo			26	0,04	<5	2,0	<0,005	0,026	0,054	0,6	17,4	188	<0,05	72	0,90	<0,05	<0,1	<0,5	<0,005	<0,05	89
15648	API	23/09/2020	Stabilimento	3		63	0,08	7	1,9	0,006	0,084	0,126	1,4	16,1	207	<0,05	94	1,72	0,17	<0,1	<0,5	<0,005	0,09	149
15646	API	23/09/2020	Lamiola			66	0,09	6	1,7	0,006	0,080	0,124	1,6	17,6	224	<0,05	104	1,64	0,17	<0,1	<0,5	<0,005	0,09	151
15650	API	23/09/2020	Bizzarro			63	0,10	6	1,6	0,006	0,074	0,110	1,5	18,7	235	<0,05	87	1,73	0,23	<0,1	<0,5	<0,005	0,09	148
15649	API	23/09/2020	Lavello			51	0,11	6	2,1	<0,005	0,085	0,139	0,7	17,9	242	<0,05	122	1,21	0,20	<0,1	<0,5	<0,005	0,08	155
15647	API	23/09/2020	Favullo			47	0,11	5	2,0	<0,005	0,087	0,129	1,9	17,3	248	<0,05	108	1,78	0,19	<0,1	<0,5	<0,005	0,08	158

Tabella 20. Metalli in Apis mellifera - API

Cod lab	Matrice	Data prelievo	Centralina di Biomonitoraggio	Trimestre	Metalli pesanti	Al mg/kg	As mg/kg	B mg/kg	Ba mg/kg	Be mg/kg	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr(tot.) mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Hg mg/kg	Mn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sb mg/kg	Se mg/kg	Tl mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
15630	Miele	25/06/2020	Lamiola	2		<5	<0,01	<5	<0,5	<0,005	<0,005	<0,005	<0,05	<0,5	<1	<0,05	<0,5	0,11	<0,05	<0,1	<0,1	<0,005	<0,05	<1
15632	Miele	25/06/2020	Bizzarro			<5	<0,01	<5	<0,5	<0,005	<0,005	<0,005	<0,05	<0,5	<1	<0,05	<0,5	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	<0,005	<0,05	<1
15631	Miele	25/06/2020	Favullo			6	<0,01	<5	<0,5	<0,005	<0,005	<0,005	<0,05	<0,5	<1	<0,05	<0,5	0,06	<0,05	<0,1	<0,1	<0,005	<0,05	<1
15653	Miele	23/09/2020	Stabilimento	3		<5	<0,01	<5	<0,5	<0,005	0,009	<0,005	<0,05	<0,5	1	<0,05	<0,5	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	<0,005	<0,05	<1
15651	Miele	23/09/2020	Lamiola			<5	<0,01	<5	<0,5	<0,005	0,005	<0,005	<0,05	<0,5	1	<0,05	<0,5	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	<0,005	<0,05	<1
15655	Miele	23/09/2020	Bizzarro			<5	<0,01	<5	<0,5	<0,005	<0,005	<0,005	<0,05	<0,5	<1	<0,05	6,2	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	<0,005	<0,05	<1
15654	Miele	23/09/2020	Lavello			<5	<0,01	<5	<0,5	<0,005	<0,005	<0,005	0,09	<0,5	<1	<0,05	<0,5	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	<0,005	<0,05	<1
15652	Miele	23/09/2020	Favullo			<5	<0,01	<5	<0,5	<0,005	<0,005	<0,005	<0,05	<0,5	<1	<0,05	3,8	<0,05	<0,05	<0,1	<0,1	<0,005	<0,05	<1

Tabella 21. Metalli in Apis mellifera - MIELE



**Lemna minor** – I risultati dei metalli pesanti determinati nella lemna sono riportati in tabella 22.

Cod lab	Matrice	Data prelievo	Centralina di Biomonitoraggio	Trimestre	Metalli pesanti	Al mg/Kg ss	As mg/Kg ss	B mg/Kg ss	Ba mg/Kg ss	Be mg/Kg ss	Cd mg/Kg ss	Co mg/Kg ss	Cr(tot.) mg/Kg ss	Cu mg/Kg ss	Fe mg/Kg ss	Hg mg/Kg ss	Mn mg/Kg ss	Ni mg/Kg ss	Pb mg/Kg ss	Sb mg/Kg ss	Se mg/Kg ss	Tl mg/Kg ss	V mg/Kg ss	Zn mg/Kg ss
15590	Lemna	12/02/2020	Bianco	1		40	4,5	778	210	0,016	0,268	0,908	0,2	8	2874	< 0,05	5413	6,8	1,0	0,2	< 0,5	0,020	0,8	138
15606	Lemna	30/04/2020	Stabilimento			154	1,6	245	88	0,026	0,226	0,477	0,5	4	1709	0,06	3032	3,7	1,6	0,8	< 0,5	0,055	1,4	98
15593	Lemna	30/04/2020	Lamiola			97	3,1	176	130	0,030	0,343	1,542	0,4	6	746	0,07	1937	3,9	1,8	0,5	< 0,5	0,158	2,5	156
15600	Lemna	30/04/2020	Lavello			56	0,5	148	41	0,008	0,171	0,113	0,2	4	431	< 0,05	275	1,2	1,0	0,2	< 0,5	0,038	0,8	106
15603	Lemna	30/04/2020	Favullo			187	1,4	456	126	0,027	0,377	0,554	0,4	9	1148	< 0,05	1562	3,6	2,0	0,6	< 0,5	0,131	2,9	214
15609	Lemna	28/05/2020	Bianco	2		231	4,3	779	139	0,047	0,394	0,940	0,6	13	4745	< 0,05	1189	11,2	1,9	0,3	< 0,5	0,057	5,5	165
15621	Lemna	24/06/2020	Stabilimento			45	1,6	167	219	0,017	0,035	0,275	1,0	3	719	< 0,05	3882	2,8	0,5	0,2	< 0,5	0,009	1,4	39
15618	Lemna	24/06/2020	Lamiola			57	2,9	147	142	0,012	0,020	1,149	0,3	5	189	< 0,05	2432	4,5	0,2	0,2	< 0,5	0,021	2,1	38
15617	Lemna	24/06/2020	Bizzarro			54	0,8	260	73	0,010	0,032	0,380	0,2	3	801	< 0,05	1262	3,1	0,6	< 0,1	< 0,5	0,056	4,0	40
15619	Lemna	24/06/2020	Lavello			36	0,5	124	61	< 0,005	0,019	0,137	0,1	2	262	< 0,05	474	1,2	0,2	< 0,1	< 0,5	0,020	2,1	25
15620	Lemna	24/06/2020	Favullo		41	0,8	136	101	0,014	0,021	0,331	0,2	3	782	< 0,05	1438	2,9	0,3	< 0,1	< 0,5	0,042	4,4	27	
15645	Lemna	26/08/2020	Bianco	3		158	2,8	911	136	0,050	0,206	0,976	0,4	7	5093	< 0,05	860	12,7	1,2	< 0,1	< 0,5	0,019	3,0	127
15664	Lemna	24/09/2020	Stabilimento			805	1,6	465	175	0,073	0,035	0,476	2,1	6	3490	< 0,05	1024	9,0	1,6	0,2	< 0,5	0,011	5,7	93
15660	Lemna	24/09/2020	Lamiola			4378	2,5	725	265	0,376	0,079	1,542	2,4	36	7041	< 0,05	1243	19,2	2,0	0,1	< 0,5	0,065	11,9	185
15661	Lemna	24/09/2020	Bizzarro			2700	2,3	630	164	0,219	0,080	0,773	4,3	19	5703	< 0,05	674	15,4	2,5	0,1	< 0,5	0,052	8,3	167
15663	Lemna	24/09/2020	Lavello			1342	2,4	620	188	0,129	0,032	0,345	1,8	4	4891	< 0,05	724	11,9	1,0	< 0,1	< 0,5	0,017	11,5	38
15662	Lemna	24/09/2020	Favullo		3153	2,0	457	198	0,274	0,041	0,704	3,2	9	3914	< 0,05	802	10,5	2,8	< 0,1	< 0,5	0,033	14,6	58	
15681	Lemna	19/11/2020	Bianco	4		109	5,1	1006	227	0,050	0,125	1,486	0,4	6	10614	< 0,05	2719	23,4	0,6	< 0,1	< 0,5	0,023	2,5	98
15690	Lemna	16/12/2020	Stabilimento			97	4,9	781	195	0,041	0,107	0,923	0,4	5	8921	< 0,05	2424	20,0	1,0	0,3	< 0,5	0,025	3,4	63
15686	Lemna	16/12/2020	Lamiola			90	3,5	452	103	0,021	0,119	0,883	0,3	18	3995	< 0,05	1225	12,7	0,7	0,1	< 0,5	0,117	5,2	131
15687	Lemna	16/12/2020	Bizzarro			134	2,8	627	109	0,037	0,139	1,063	0,6	11	4306	< 0,05	1160	11,3	1,3	0,2	0,5	0,198	4,1	145
15688	Lemna	16/12/2020	Lavello			131	1,8	458	97	0,025	0,079	0,523	0,3	4	4383	< 0,05	822	10,0	0,8	< 0,1	0,5	0,027	2,5	72
15689	Lemna	16/12/2020	Favullo		79	1,4	445	106	0,019	0,037	0,510	0,3	5	4014	< 0,05	698	9,4	0,6	0,1	< 0,5	0,064	1,2	32	

Tabella 22. Metalli pesanti in Lemna minor

#### **b. Paragrafo - 9.4 Fattorie e campi circostanti**

**Latte** – I risultati dei metalli pesanti e delle sostanze organoclorurate determinati nei campioni di latte ovino sono riportate rispettivamente in tabella 23 e in tabella 24. Nell'allegato 1 invece sono riportati i certificati emessi dall'Istituto Zooprofilattico Sperimentale dell'Abruzzo e del Molise "G.Caporale" di Teramo, contenenti i risultati delle analisi di:

- Diossine
- PCB diossina-simili
- PCB non diossina-simile

I risultati riportati nei certificati emessi dall'Istituto Zooprofilattico Sperimentale dell'Abruzzo e del Molise "G.Caporale" di Teramo, non evidenziano superamenti rispetto ai valori riportati nel "Regolamento (CE) N.1881/2006 della Commissione del 19 dicembre 2006 che definisce i tenori massimi di alcuni contaminati nei prodotti alimentari" e successiva modifica "Regolamento (UE) N. 1259/2011 della Commissione del 2 dicembre 2011 che modifica il regolamento (CE) N.1881/2006 per quanto riguarda i tenori massimi per i PCB diossina-simili e i PCB non diossina-simili nei prodotti alimentari".

Cod lab	Matrice	Data prelievo	Fattoria circostante	campionamento	Note	Metalli pesanti	Al mg/Kg	As mg/kg	B mg/kg	Ba mg/kg	Be mg/kg	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr(tot.) mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Hg mg/kg	Mn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sb mg/kg	Se mg/kg	Tl mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
15634	latte ovino	25/06/2020	contrada Olivento	1	Azienda Di Noia		< 1	< 0,005	< 0,5	< 0,5	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,005	< 0,05	< 0,5	< 0,005	< 0,05	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,05	< 0,002	< 0,005	3,4

Tabella 23. Metalli pesanti nel latte ovino

**Uova** – Nell'allegato 2 è riportato il certificato emesso dall'Istituto Zooprofilattico Sperimentale dell'Abruzzo e del Molise "G.Caporale" di Teramo, contenenti i risultati delle analisi nel campione di uova di:

- Diossine
- PCB diossina-simili
- PCB non diossina-simile

I risultati riportati nei certificati emessi dall'Istituto Zooprofilattico Sperimentale dell'Abruzzo e del Molise "G.Caporale" di Teramo, non evidenziano superamenti rispetto ai valori riportati nel "Regolamento (CE) N.1881/2006 della Commissione del 19 dicembre 2006 che definisce i tenori massimi di alcuni contaminati nei prodotti alimentari" e successiva modifica "Regolamento (UE) N. 1259/2011 della Commissione del 2 dicembre 2011 che modifica il regolamento (CE) N.1881/2006 per quanto riguarda i tenori massimi per i PCB diossina-simili e i PCB non diossina-simili nei prodotti alimentari".

**Ortaggi** - I risultati dei metalli pesanti e degli IPA determinati negli ortaggi sono riportati rispettivamente in tabella 25 e in tabella 26.

Cod lab	Matrice	Data prelievo	Località	Campionamento	metalli pesanti	Al mg/Kg ss	As mg/Kg ss	B mg/Kg ss	Ba mg/Kg ss	Be mg/Kg ss	Cd mg/Kg ss	Co mg/Kg ss	Cr(tot.) mg/Kg ss	Cu mg/Kg ss	Fe mg/Kg ss	Hg mg/Kg ss	Mn mg/Kg ss	Ni mg/Kg ss	Pb mg/Kg ss	Sb mg/Kg ss	Se mg/Kg ss	Tl mg/Kg ss	V mg/Kg ss	Zn mg/Kg ss
15596	Lattuga	30/04/2020	Orto-Lamiola	1		768	0,54	26	33	0,143	0,246	0,530	2,58	13,7	1083	<0,05	71	4,8	1,66	<0,1	<0,5	0,053	3,69	77
15597	Indivia	30/04/2020	Orto-Lamiola			921	0,31	14	20	0,073	0,157	0,252	1,48	11,9	625	<0,05	55	2,6	1,29	<0,1	<0,5	0,013	0,71	96
15598	Bietola	30/04/2020	Orto-Lamiola			1413	0,41	17	32	0,115	0,137	0,349	2,38	13,6	983	<0,05	55	4,1	1,23	<0,1	<0,5	<0,005	0,21	71
15599	Tarassaco	30/04/2020	Orto-Lamiola			979	0,36	29	25	0,078	0,205	0,270	1,58	9,9	641	<0,05	57	2,6	0,81	<0,1	<0,5	0,029	1,99	118
15622	Tarassaco	24/06/2020	Orto-Lamiola	2		169	0,11	20	6	0,010	0,061	0,056	0,31	14,2	129	<0,05	91	0,7	0,14	<0,1	<0,5	<0,005	0,31	38
15623	Bietola	24/06/2020	Orto-Lamiola			259	0,07	21	163	0,016	0,447	0,169	0,42	12,3	144	<0,05	572	1,2	0,19	<0,1	<0,5	<0,005	0,52	56
15624	Brassica	24/06/2020	Orto-Lamiola			90	0,17	18	39	<0,005	0,252	0,069	0,36	2,5	68	<0,05	76	0,4	0,06	<0,1	<0,5	0,011	0,30	130
15625	Lattuga	24/06/2020	Orto-Lamiola			300	0,17	13	29	0,017	0,418	0,093	0,56	10,9	228	<0,05	144	1,4	0,22	<0,1	<0,5	0,010	0,96	155
15626	Indivia	24/06/2020	Orto-Lamiola			365	0,28	17	9	0,023	0,197	0,108	0,58	11,0	264	<0,05	86	1,3	0,21	<0,1	<0,5	<0,005	0,19	63
15657	Bietola	24/09/2020	Orto-Lamiola	3		142	0,06	18	58	0,013	0,168	0,083	0,31	9,4	104	<0,05	241	0,8	0,20	<0,1	<0,5	<0,005	0,27	69
15658	Lattuga	24/09/2020	Orto-Lamiola			120	0,06	15	16	0,008	0,175	0,179	0,31	12,8	122	<0,05	93	1,1	0,23	<0,1	<0,5	0,009	0,14	31
15659	Brassica	24/09/2020	Orto-Lamiola			124	0,15	15	28	0,006	0,197	0,081	0,24	5,0	102	<0,05	74	0,9	0,12	<0,1	<0,5	0,145	0,12	12
15682	Brassica	16/12/2020	Orto-Lamiola	4		118	0,03	15	11	<0,005	0,078	0,033	0,23	2,4	54	<0,05	15	0,6	0,10	<0,1	<0,5	0,365	<0,05	11
15683	Lattuga	16/12/2020	Orto-Lamiola			120	0,04	18	26	0,007	0,215	0,166	0,29	9,7	88	<0,05	144	0,6	0,18	<0,1	<0,5	<0,005	0,08	29
15684	Bietola	16/12/2020	Orto-Lamiola			475	0,15	16	57	0,039	0,116	0,139	0,79	5,0	309	<0,05	167	1,4	0,42	<0,1	<0,5	0,010	1,72	37
15685	Indivia	16/12/2020	Orto-Lamiola			241	0,10	12	6	0,015	0,103	0,088	0,43	8,3	175	<0,05	37	1,0	0,22	<0,1	<0,5	0,006	0,48	16

Tabella 24. Metalli pesanti nelle matrici dell'orto

Cod lab	Matrice	Data prelievo	Località	Campionamento	IPA	Naftalene ug/kg ss	acenafliene ug/kg ss	2-Metilnaftalene	Acenaftefene ug/kg ss	Fluorene ug/kg ss	Fenantrene ug/kg ss	Antracene ug/kg ss	Fluorantene ug/kg ss	Pirene ug/kg ss	Benzo(a)antracene ug/kg ss	Crisene ug/kg ss	Benzo(b+f)fluorantene ug/kg ss	Benzo(e)pirene	Benzo(k)fluorantene ug/kg ss	Benzo(a)pirene ug/kg ss	Dibenzo(a,j)pirene	Dibenzo(a,h)antrace ne ug/kg ss	Benzo(g,h,i)perilene ug/kg ss	Indeno(1,2,3-cd)pirene ug/kg ss	Dibenzo(a,e)pirene	
15596	Lattuga	30/04/2020	Orto-Lamiola	1		<10	<0.5	<10	<0.5	0,59	7,74	0,90	2,37	1,86	0,80	2,90	1,83	0,81	0,91	0,79	<1	<0.5	1,03	1,07	<1	
15597	Indivia	30/04/2020	Orto-Lamiola			<10	<0.5	<10	<0.5	<0.5	<0.5	1,76	<0.5	0,74	0,76	<0.5	0,51	0,69	<0.5	<0.5	<0.5	<1	<0.5	0,54	0,51	<1
15598	Bietola	30/04/2020	Orto-Lamiola			<10	<0.5	<10	<0.5	<0.5	<0.5	8,90	0,76	2,47	2,23	0,71	2,51	2,60	1,15	1,00	0,91	<1	<0.5	1,36	1,36	<1
15599	Tarassaco	30/04/2020	Orto-Lamiola			<10	<0.5	<10	<0.5	<0.5	<0.5	2,16	<0.5	0,61	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<1	<0.5	<0.5	<0.5	<1
15622	Tarassaco	24/06/2020	Orto-Lamiola	2		<10	1,22	<10	1,39	1,70	3,08	1,35	1,72	1,74	1,65	1,21	1,78	1,20	0,92	1,14	1,5	0,73	1,78	1,83	2,36	
15623	Bietola	24/06/2020	Orto-Lamiola			<10	<0.5	<10	<0.5	0,55	1,19	<0.5	0,56	0,54	<0.5	<0.5	0,53	<0.5	<0.5	<0.5	<1	<0.5	0,51	0,55	<1	
15624	Brassica	24/06/2020	Orto-Lamiola			<10	<0.5	<10	<0.5	0,67	1,84	<0.5	0,72	0,69	<0.5	<0.5	0,54	<0.5	<0.5	<0.5	<1	<0.5	0,52	0,57	<1	
15625	Lattuga	24/06/2020	Orto-Lamiola			<10	0,84	<10	1,04	1,36	3,04	1,01	1,60	1,65	1,13	0,91	1,23	0,78	0,63	0,77	<1	<0.5	1,16	1,26	<1	
15626	Indivia	24/06/2020	Orto-Lamiola	<10		0,57	<10	0,66	0,85	1,57	0,63	0,81	0,78	0,77	0,56	0,83	0,52	<0.5	0,53	<1	<0.5	0,80	0,85	1,07		
15657	Bietola	24/09/2020	Orto-Lamiola	3		<10	<0.5	<10	<0.5	2,05	2,33	<0.5	0,84	0,89	<0.5	0,95	0,75	<0.5	<0.5	<0.5	<1	<0.5	<0.5	<0.5	<1	
15658	Lattuga	24/09/2020	Orto-Lamiola			<10	<0.5	<10	<0.5	1,77	1,70	<0.5	0,68	0,81	<0.5	<0.5	0,69	<0.5	<0.5	<0.5	<1	<0.5	<0.5	<0.5	<1	
15659	Brassica	24/09/2020	Orto-Lamiola			<10	<0.5	<10	<0.5	1,20	2,56	<0.5	0,96	1,03	<0.5	0,92	1,03	0,50	<0.5	<0.5	<1	<0.5	<0.5	<0.5	<1	
15682	Brassica	16/12/2020	Orto-Lamiola	4		<10	1,71	<10	1,74	<0.5	4,36	2,18	4,92	4,24	3,22	1,54	3,89	1,68	1,35	1,68	<1	1,81	2,82	3,34	2,77	
15683	Lattuga	16/12/2020	Orto-Lamiola			<10	3,07	<10	3,21	0,56	6,58	3,77	6,17	6,11	5,74	3,65	7,62	3,1	2,77	3,03	<1	3,16	4,97	6,29	<1	
15684	Bietola	16/12/2020	Orto-Lamiola			<10	2,73	<10	2,7	<0.5	8,37	3,37	6,76	6,1	4,95	2,79	6,28	2,72	2,12	2,61	<1	2,84	4,48	5,30	<1	
15685	Indivia	16/12/2020	Orto-Lamiola			<10	3,80	<10	3,86	0,66	9,11	4,64	8,8	8,47	7,16	4,43	9,07	4,45	3,15	3,85	<1	3,95	6,66	7,51	<1	

Tabella 25. IPA nelle matrici dell'or

**Grano** - I risultati dei metalli pesanti determinati nel grano sono riportati in tabella 27.

Cod lab	Matrice	Data prelievo	Fattoria circostante	Campionamento	Metalli pesanti	Al mg/Kg ss	As mg/Kg ss	B mg/Kg ss	Ba mg/Kg ss	Be mg/Kg ss	Cd mg/Kg ss	Co mg/Kg ss	Cr(tot.) mg/Kg ss	Cu mg/Kg ss	Fe mg/Kg ss	Hg mg/Kg ss	Mn mg/Kg ss	Ni mg/Kg ss	Pb mg/Kg ss	Sb mg/Kg ss	Se mg/Kg ss	Tl mg/Kg ss	V mg/Kg ss	Zn mg/Kg ss
15616	Grano	11/06/2020	vicino Lamiola	annuale		30	< 0,01	< 5	1,6	< 0,005	0,034	0,008	0,11	7,1	25	< 0,05	47	0,73	< 0,05	< 0,1	< 0,5	< 0,005	< 0,05	41

Tabella 26. Metalli pesanti nel grano

**c. Paragrafo - 9.5 Suolo**

**Suolo** - I risultati dei metalli pesanti determinati nel suolo sono riportati in tabella 28.

Cod lab	Matrice	Data prelievo	prof (m)	Distanza (m)	Direzione	Semestre	Metalli	As mg/kg	Ba mg/kg	Be mg/kg	Cd mg/kg	Co mg/kg	Crtot. mg/kg	Cr(VI) mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Hg mg/kg	Mn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sb mg/kg	Se mg/kg	Tl mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
15610	Suolo	11/06/2020	0-0,1	750	Direzione Lavello	1		9,9	325	5,5	0,27	13,3	33	< 0,5	28	31096	< 0,1	1027	25,8	26,4	0,3	< 1	0,94	80	65
15611	Suolo	11/06/2020	0-0,5	750	Direzione Lavello			9,6	318	5,5	0,27	13,2	27	< 0,5	28	29332	< 0,1	1035	25,3	26,0	0,2	< 1	0,94	78	64
15612	Suolo	11/06/2020	0-0,1	1000	Direzione Lavello			6,5	275	3,3	0,21	12,0	30	< 0,5	29	26296	< 0,1	855	26,9	19,4	0,2	< 1	0,66	69	64
15613	Suolo	11/06/2020	0-0,5	1000	Direzione Lavello			10,3	326	4,0	0,23	12,5	31	< 0,5	34	27358	< 0,1	903	27,3	22,0	0,3	< 1	0,70	74	66
15614	Suolo	11/06/2020	0-0,1	1500	Direzione Lavello			9,0	367	4,9	0,22	11,8	20	< 0,5	28	32693	< 0,1	810	19,8	25,9	0,3	< 1	0,99	87	59
15615	Suolo	11/06/2020	0-0,5	1500	Direzione Lavello			9,4	358	5,0	0,21	10,9	18	< 0,5	28	26796	< 0,1	769	18,8	26,0	0,3	< 1	0,95	70	54
15675	Suolo	19/11/2020	0 - 0,1	700	Direzione venti	2		12,8	286	4,3	0,20	11,8	32	< 0,5	33	25236	< 0,1	1019	26,2	22,1	0,3	< 1	1,27	77	75
15676	Suolo	19/11/2020	0 - 0,5	700	Direzione venti			10,8	273	4,2	0,15	11,7	31	< 0,5	31	25965	< 0,1	984	26,3	21,7	0,3	< 1	1,29	75	72
15677	Suolo	19/11/2020	0 - 0,1	1250	Direzione venti			5,7	115	1,6	0,14	11,4	42	< 0,5	28	27043	< 0,1	705	34,1	13,4	0,3	< 1	0,43	54	78
15678	Suolo	19/11/2020	0 - 0,5	1250	Direzione venti			7,0	140	2,0	0,19	12,6	48	< 0,5	30	25964	< 0,1	760	36,5	14,8	0,2	< 1	0,49	65	82
15679	Suolo	19/11/2020	0 - 0,1	1500	Direzione venti			9,6	311	2,6	0,14	12,2	20	< 0,5	37	24184	< 0,1	833	23,9	30,5	0,3	< 1	0,76	72	72
15680	Suolo	19/11/2020	0 - 0,5	1500	Direzione venti			9,8	347	2,7	0,10	12,8	22	< 0,5	41	24958	< 0,1	843	26,2	31,7	0,3	< 1	0,81	76	74

Tabella 27 – Risultati metalli pesanti nei suol

#### 4. . Elaborazione statistica dei risultati del biomonitoraggio 2015-2020

Nell'Autorizzazione Integrata Ambientale (A.I.A)- Piattaforma per il trattamento di rifiuti mediante termovalorizzazione con recupero di energia denominata "ITM-Impianto di termovalorizzazione di Melfi", ubicata in località San Nicola di Melfi (PZ) - deliberata con DGR n°428 del 14 Aprile 2014, è previsto il Piano di Monitoraggio e Controllo con lo scopo di monitorare e valutare l'impatto che il termovalorizzatore potrebbe avere sull'ambiente circostante.

All'interno dell'appendice 7 vengono specificati tutti i comparti nonché le frequenze con cui effettuare i controlli, in modo da avere una regolare fotografia sullo stato ambientale del territorio circostante. All'interno dell'appendice 7 è previsto anche un capitolo che comprende lo studio del bioaccumulo su specie viventi animali e vegetali di alcuni specifici inquinanti come ampiamente documentato dalla letteratura. Gli inquinanti più studiati sono sicuramente i metalli pesanti, ma non mancano anche i cosiddetti POPs (Persistent Organic Pollutants) tra cui i più significativi per uno studio dell'ambiente nei pressi di un termovalorizzatore sono sicuramente le diossine e gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA). Lo studio ha coinvolto non solo matrici vegetali e animali, ma anche alcune matrici alimentari scegliendo però un approccio su piccola scala, cioè sono state scelte piccole aziende con una produzione a consumo familiare che fosse esente per quanto possibile da altri tipi di influenze. Allo stesso scopo è stato allestito un piccolo orto, in cui coltivare pochi ortaggi senza l'utilizzo di prodotti che potessero interferire con i controlli del nostro scopo. Le matrici alimentari che fanno parte di questo monitoraggio, come il latte e le uova, sono inserite in una normativa, il "Regolamento (CE) N.1881/2006 della Commissione del 19 dicembre 2006 che definisce i tenori massimi di alcuni contaminati nei prodotti alimentari" e successiva modifica "Regolamento (UE) N. 1259/2011 della Commissione del 2 dicembre 2011 che modifica il regolamento (CE) N.1881/2006. A questo si aggiunge naturalmente la matrice suolo che segue la sua normativa ambientale (Tab.1 All.5 Titolo V Parte IV del D. Lgs. N.152/06 col A). Le matrici come licheni, tarassaco, lemna minor, apis mellifera e suoi prodotti nonché la matrici coltivate nel piccolo orto di cui abbiamo parlato, non sono quasi mai inserite nelle normative ambientali, ma una vasta letteratura scientifica ha dimostrato la loro capacità di bioaccumulo. La consistente mole di dati raccolti in questi anni ci consente dunque di effettuare uno studio statistico per valutare

l'accumulo a partire dall'anno 2015, anno di inizio del nostro monitoraggio. Le diverse matrici vegetali studiate sono specifiche dei diversi comparti ambientali soggetti ad inquinamento: aria, acqua e suolo. Per lo studio delle deposizioni atmosferiche sono stati scelti i licheni, la cui validità come organismo bioindicatore è riconosciuta a livello scientifico ormai da svariati anni. Le caratteristiche che li rendono idonei a questo scopo sono principalmente:

- L'assenza di cuticola che li mette direttamente a contatto con l'atmosfera;
- Sopravvivenza in qualsiasi periodo dell'anno;
- Nutrimiento e riproduzione essenzialmente dipendente dal contatto con l'atmosfera.

Queste caratteristiche li rendono capaci di entrare in contatto con gli inquinanti atmosferici e di assorbirli ed accumularli in modo efficace. In particolare è dimostrata la loro capacità di accumulare i metalli, ma negli ultimi anni non mancano studi che dimostrano la loro efficacia nell'accumulo di alcuni inquinanti organici come gli idrocarburi policiclici aromatici.

Per lo studio del comparto acqua è stata scelta una macrofita acquatica galleggiante: la *lemna minor* detta anche lenticchia d'acqua. Questa è una specie che vive in acque stagnanti o a lento scorrimento, caratteristica che la rende facilmente gestibile. La Lemna possiede capacità depurative di acque inquinate, è in grado di accumulare diverse sostanze inquinanti (*Vermaat et al., 1998; Migliore et al., 2001*). Studi scientifici dimostrano la sua capacità di assorbire in particolar modo i metalli.

Altra specie vegetale usata per questo studio è il tarassaco che consente una doppia modalità di indagine. Infatti del tarassaco vengono prelevate integralmente foglie e radici, che hanno una diversa modalità di assorbimento dei contaminanti: radice per il suolo e foglie per l'aria (*Kleckerová, A. and Dočekalová, 2014*); per cui in questo caso si è preferito determinare il contenuto di metalli separatamente, nelle foglie e nelle radici.

Accanto a questi organismi vegetali è stato utilizzato anche un organismo animale come bioindicatore: l'*Apis mellifera*. Viene considerato un eccellente bioindicatore per le sue caratteristiche etologiche e il suo stretto rapporto con il territorio. L'ape infatti durante la sua attività di bottinamento, che può estendersi per un'area di circa di 6 km<sup>2</sup>, viene a contatto con polline, nettare e acqua, si posa su terreno e foglie, durante il volo il suo corpo peloso intercetta e

trasporta le particelle presenti in sospensione nell'atmosfera. Inoltre facendo ritorno all'alveare permette, attraverso le matrici da esse prodotte, di effettuare una valutazione dell'accumulo di sostanze inquinanti anche attraverso lo studio del miele, cere e altri prodotti. In media in un alveare in buono stato vi sono circa 10.000 api bottinatrici, ogni bottinatrice ogni giorno si posa su circa un migliaio di fiori facendo dunque circa dieci milioni di prelievi ogni giorno e a questi si aggiunge il prelievo di acqua (*Pinzauti e Felicioli, 1998*). E' facilmente deducibile quanto questo insetto frequenti attivamente il territorio prelevando e trasportando campioni di sostanze eventualmente contaminati. In particolar modo è stata dimostrata l'utilità dell'ape come indicatore biologico per inquinamento da antiparassitari, metalli e radionuclidi. Accanto a queste categorie sono sempre più numerosi negli ultimi anni gli studi che mostrano la sua utilità come indicatore per gli idrocarburi policiclici aromatici.

Bisogna ricordare però che nel caso delle api l'attività di volo dipende da una temperatura ambientale di almeno 10°C, cosa che la rende inefficiente ai fini del monitoraggio in periodo invernale. Per cui i nostri campioni sono stati prelevati in tutte le stagioni escludendo però il trimestre invernale periodo in cui le api effettuano solo attività essenziali e non risulta possibile prelevare alcuna matrice per non recare danno all'alveare.

Il riepilogo delle matrici considerate e dei parametri analizzati è riportato nella tabella sottostante:

Matrice	Parametro
Licheni	Metalli pesanti
Tarassaco (radici e foglie)	Metalli pesanti
Apis mellifera	Metalli pesanti
Miele	Metalli pesanti
Apis mellifera	IPA
Miele	IPA
Cera	IPA

<b>Lemna Minor</b>	Metalli pesanti
<b>Latte ovino</b>	Metalli pesanti
<b>Latte ovino</b>	Diossine e Furani
<b>Uova</b>	Diossine e Furani
<b>Ortaggi</b>	Metalli pesanti
<b>Ortaggi</b>	IPA
<b>Grano</b>	Metalli pesanti
<b>Terreno</b>	Metalli pesanti
<b>Terreno</b>	Diossine e Furani

Tabella 28. Elenco matrici e parametri

L'approccio scelto per l'elaborazione statistica dei dati è la tecnica dell'analisi delle componenti principali allo scopo di:

- (i) consentire una esplorazione e una rappresentazione sintetica e compatta della vasta mole di dati raccolti;
- (ii) evidenziare eventuali strutture significative nei dati stessi con riferimento sia all'evoluzione temporale degli analiti monitorati (tendenze annuali e stagionali) sia a differenze tra i siti di monitoraggio.

### **Analisi delle componenti principali (PCA)**

L'analisi delle componenti principali (PCA) è una delle tecniche fondamentali per l'esplorazione di dati. Essa consente di valutare le correlazioni tra le variabili che descrivono un insieme di dati e di sintetizzare la descrizione dei dati riducendo la loro dimensione a un numero ristretto di nuove variabili, chiamate componenti principali, che sono ottenute per combinazione lineare delle variabili originali e hanno la caratteristica di essere, in ordine via via decrescente, le direzioni di massima varianza, cioè di massima dispersione dei dati rispetto alla media.

Da un punto di vista intuitivo e di facile comprensione, se le variabili costituiscono gli assi di un sistema di riferimento in cui i dati hanno ciascuno le proprie coordinate, la PCA consiste in un processo di rotazione delle variabili e quindi delle coordinate dei dati, effettuato in modo che il primo nuovo asse sia orientato nella direzione di massima varianza dei dati, il secondo sia perpendicolare al primo e sia nella direzione della successiva massima varianza dei dati, e così di seguito per gli altri assi. Le nuove variabili sono pari in numero alle variabili originali, ma quelle in cui si concentra la maggior parte della varianza sono solitamente in numero ridotto (solitamente quattro o cinque al massimo), tale per cui il trascurare le altre variabili non comporta una perdita significativa di informazione.

In definitiva, la trasformazione in componenti principali ha l'effetto di concentrare la varianza e quindi l'informazione presente nei dati in poche variabili significative, rendendola in tal modo più facilmente leggibile e interpretabile. Al tempo stesso, il diverso grado con cui le variabili originali contribuiscono alla formazione delle componenti principali fornisce un'informazione importante sulle correlazioni esistenti tra variabili.

La procedura matematica per la determinazione delle componenti principali consiste nella diagonalizzazione della matrice di covarianza dei dati, che è la matrice simmetrica  $n \times n$  (dove  $n$  è il numero di variabili) avente per elementi diagonali le varianze e per elementi non diagonali le covarianze, cioè il grado di correlazione esistente tra ogni coppia di variabili. La diagonalizzazione della matrice di covarianza comporta la determinazione di una matrice diagonale, detta degli autovalori, e di una matrice detta dei loadings. Gli autovalori, ordinati in modo decrescente e con somma pari a uno, rappresentano la percentuale di varianza associata a ciascuna componente principale. Nella matrice dei loadings le colonne sono gli autovettori della matrice di covarianza, ossia le componenti principali, mentre le righe rappresentano le variabili originali; quindi, selezionato un autovettore, gli elementi che compaiono riga per riga sono i coefficienti numerici che rappresentano l'importanza di ciascuna variabile originale in quell'autovettore. La matrice dei loadings ha la funzione di una matrice di rotazione, che moltiplicata per la matrice dei dati fornisce la matrice, detta degli scores, delle coordinate dei dati nel nuovo spazio ortogonale delle componenti principali.

L'analisi delle componenti principali è stata effettuata, previa autoscalatura dei dati, utilizzando il software chemiometrico CAT (Chemometric Agile Tool) disponibile sul sito web del gruppo di chemiometria dell'Università di Genova <http://www.gruppochemiometria.it/index.php/software>).

La rappresentazione grafica delle coordinate (scores) dei vari campioni nel sistema delle componenti principali è stata effettuata indicizzando i dati per sito di monitoraggio, per anno e per trimestre (grafici di tipo score-plot). La relazione esistente tra le componenti principali e gli analiti oggetto di indagine è stata evidenziata mediante la rappresentazione grafica simultanea dei dati e delle variabili analitiche nello spazio delle componenti principali (grafici di tipo bi-plot).

#### 4.1 Monitoraggio dei metalli pesanti in campioni di Licheni



Figura 15 Campione di lichene *Evernia prunasti* esposto

Il presente capitolo ha per oggetto un'elaborazione statistica dei dati riguardanti l'analisi di metalli in campioni di lichene della specie *Evernia prunasti* condotta nel quadro del programma di biomonitoraggio degli impatti ambientali dell'impianto di termovalorizzazione di Melfi (PZ).

Un totale di 118 campioni di lichene sono stati prelevati con cadenza trimestrale nel periodo 2015-2020 dai cinque siti di monitoraggio di Rendina, Bizzarro, Favullo, Lamiola e Lavello. Ad ogni trimestre è stato analizzato anche un bianco, costituito da un esemplare della stessa specie, proveniente dal medesimo sito degli esemplari esposti in parallelo nei diversi siti.

#### Trattamento dei dati

I dati relativi ai 118 campioni e ai 23 bianchi analizzati sono riportati in tabella 29, dove i valori inferiori ai limiti di quantificazione (LOQ), evidenziati in rosso, sono stati trattati secondo il criterio "medium-bound", cioè posti uguali alla metà dei rispettivi LOQ.

Sito	Anno	Trimestre	Alluminio	Arsenico	Bario	Berillio	Cadmio	Cobalto	Cromo	Rame	Ferro	Mercurio	Manganese	Nichel	Piombo	Antimonio	Tallio	Vanadio	Zinco
			mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Bianco	2015	I	1302	0,686	8,29	0,046	0,139	0,664	4,97	6,14	1178	0,255	127,2	3,53	4,97	0,118	0,012	2,71	44,14
Stabilimento	2015	I	702	0,481	9,58	0,033	0,198	0,497	3,38	5,75	783	0,231	102,2	3,33	8,16	0,182	0,010	1,77	50,57
Bianco	2015	II	1020	0,691	12,07	0,040	0,168	0,650	5,35	6,66	1217	0,286	165,9	4,51	5,25	0,136	0,011	2,16	44,08
Lamiola	2015	I	2051	1,057	33,52	0,118	0,405	1,027	6,35	11,10	1860	0,303	154,0	4,63	6,67	0,143	0,029	4,65	58,10
Bizzarro	2015	I	1969	1,030	15,84	0,090	0,176	0,939	9,41	8,91	2276	0,370	101,8	5,79	11,12	0,202	0,023	4,63	54,38
Lavello	2015	I	1892	0,833	15,35	0,087	0,162	0,783	6,30	8,59	1739	0,312	105,6	4,20	8,70	0,162	0,023	4,20	54,89
Favullo	2015	I	1219	0,705	11,08	0,059	0,185	0,637	4,90	6,98	1252	0,310	126,5	3,89	8,63	0,142	0,017	3,00	47,15
Lamiola	2015	II	1938	1,001	17,45	0,084	0,183	0,921	8,13	8,32	2043	0,354	162,4	5,59	5,13	0,126	0,022	4,29	51,39
Bianco	2015	III	1555	0,798	11,20	0,050	0,144	1,159	8,73	8,33	1931	0,230	135,5	9,44	6,34	0,133	0,016	5,86	51,68
Bizzarro	2015	II	1402	0,710	13,48	0,058	0,155	0,716	5,79	7,82	1366	0,307	152,2	4,21	4,18	0,123	0,016	2,88	44,42
Favullo	2015	II	2038	0,838	21,79	0,088	0,137	0,906	8,65	10,64	1977	0,306	170,5	5,74	5,67	0,164	0,022	4,31	56,75
Lavello	2015	II	1323	0,668	20,43	0,059	0,228	0,808	6,15	7,98	1495	0,309	195,2	6,91	8,79	0,205	0,017	3,03	50,93
Stabilimento	2015	II	1167	0,630	14,14	0,052	0,178	0,700	5,27	7,96	1184	0,290	170,6	4,24	5,84	0,152	0,014	2,49	53,11
Lamiola	2015	III	2155	0,945	18,01	0,101	0,230	1,419	10,12	9,69	2867	0,239	149,9	12,62	11,03	0,146	0,029	8,12	70,01
Bizzarro	2015	III	2131	1,098	18,53	0,099	0,257	1,363	9,86	10,81	2897	0,230	159,2	11,91	11,67	0,137	0,029	6,51	58,85
Lavello	2015	III	2183	1,106	14,75	0,096	0,191	1,367	10,05	10,66	3039	0,239	142,2	11,04	12,78	0,153	0,027	6,69	65,93
Favullo	2015	III	1966	0,904	18,11	0,096	0,216	1,299	8,16	10,13	2529	0,229	171,2	10,60	13,61	0,141	0,028	6,54	59,81
Stabilimento	2015	III	1645	0,839	14,05	0,071	0,209	1,162	7,84	9,15	2084	0,209	151,4	9,45	10,20	0,166	0,021	4,97	66,05
Bianco	2015	IV	1548	0,812	13,47	0,058	0,237	0,841	7,49	7,32	1929	0,307	167,4	6,54	12,96	0,184	0,018	3,56	52,32
Bizzarro	2015	IV	1906	0,769	12,92	0,071	0,165	0,741	7,55	8,16	1901	0,515	93,1	4,86	13,67	0,329	0,028	3,49	62,46
Lamiola	2015	IV	1932	0,621	13,97	0,074	0,220	0,806	6,39	6,74	1722	0,424	173,7	5,32	11,80	0,239	0,028	3,24	50,67
Lavello	2015	IV	1917	0,708	12,58	0,074	0,170	0,689	6,83	7,83	1706	0,491	94,7	4,29	14,67	0,312	0,027	3,18	57,74
Favullo	2015	IV	1593	0,691	11,93	0,061	0,200	0,771	6,18	6,98	1582	0,523	130,5	4,89	13,39	0,271	0,026	2,69	52,99
Stabilimento	2015	IV	1896	0,691	12,96	0,062	0,165	0,752	7,27	7,14	1816	0,541	97,7	4,89	13,54	0,315	0,029	3,23	57,45
Bianco	2016	I	975	0,379	9,22	0,033	0,217	0,553	3,41	4,88	942	0,321	134,4	3,66	10,70	0,139	0,015	1,81	42,71
Bizzarro	2016	I	1897	0,526	13,66	0,069	0,186	0,773	5,46	6,61	1635	0,435	116,0	4,43	10,74	0,180	0,026	3,08	51,62
Lavello	2016	I	1761	0,517	15,07	0,062	0,286	0,816	4,97	7,62	1507	0,490	171,9	5,24	14,79	0,294	0,024	2,86	57,11
Favullo	2016	I	1571	0,461	12,22	0,065	0,194	0,661	4,23	7,52	1265	0,427	112,8	3,84	9,81	0,185	0,023	2,53	49,84
Lamiola	2016	I	2450	0,648	18,85	0,097	0,225	0,997	6,29	7,27	1959	0,520	186,6	6,24	11,94	0,194	0,033	3,91	58,63

Stabilimento	2016	I	1977	0,560	17,41	0,065	0,267	1,029	6,24	7,84	1909	0,486	163,7	7,08	16,51	0,240	0,026	3,21	60,19
Bianco	2016	II	1602	0,512	12,17	0,053	0,184	0,647	5,21	5,55	1392	0,569	126,1	4,20	10,97	0,187	0,023	2,54	45,39
Bizzarro	2016	II	1432	0,645	13,73	0,044	0,188	0,795	5,85	8,68	1643	0,263	72,5	5,36	7,49	0,146	0,017	3,33	42,50
Lamiola	2016	II	1587	0,817	13,44	0,053	0,169	0,814	6,42	7,86	1804	0,311	67,9	4,83	5,66	0,136	0,019	3,51	44,54
Lavello	2016	II	1536	0,743	15,10	0,052	0,170	0,826	6,40	9,11	1811	0,355	71,7	5,23	7,81	0,178	0,018	3,39	46,10
Bianco	2016	III	994	0,633	7,55	0,030	0,081	0,651	5,02	5,83	1308	0,273	52,9	3,94	7,88	0,152	0,013	2,38	33,39
Favullo	2016	II	1459	0,707	15,94	0,055	0,164	0,753	5,13	8,31	1525	0,297	88,7	4,71	7,07	0,131	0,018	3,22	39,49
Stabilimento	2016	II	974	0,702	13,94	0,034	0,172	0,681	4,85	7,63	1319	0,330	70,8	4,44	8,33	0,177	0,013	2,42	44,32
Bizzarro	2016	III	1304	0,611	13,74	0,077	0,184	0,710	5,68	8,41	1259	0,349	133,0	4,49	13,29	0,190	0,023	3,47	46,97
Lamiola	2016	III	1749	0,950	15,81	0,095	0,164	0,876	7,23	8,31	1780	0,409	137,9	4,95	12,12	0,225	0,031	4,21	54,55
Favullo	2016	III	2108	1,011	17,38	0,145	0,223	0,927	6,99	10,72	1819	0,390	120,7	4,95	14,38	0,220	0,038	4,89	65,31
Lavello	2016	III	1599	0,740	14,95	0,097	0,175	0,815	6,83	9,07	1628	0,387	137,0	5,09	19,19	0,263	0,031	3,94	48,53
Bianco	2016	IV	1298	0,686	12,43	0,059	0,148	0,861	7,02	6,18	1647	0,415	236,2	5,60	21,62	0,234	0,020	3,46	39,42
Stabilimento	2016	III	1420	0,705	14,89	0,078	0,199	0,768	6,80	7,48	1569	0,388	148,4	4,80	16,88	0,278	0,026	3,43	53,92
Bizzarro	2016	IV	1196	0,590	13,50	0,057	0,222	0,759	10,05	7,16	1827	0,619	278,1	5,68	41,29	0,238	0,028	3,18	46,50
Bianco	2017	I	464	0,439	6,05	0,026	0,156	0,389	3,31	3,76	814	0,422	133,2	2,63	9,35	0,113	0,013	1,69	35,93
Lamiola	2016	IV	1221	0,626	11,47	0,053	0,185	0,749	6,77	5,49	1715	0,633	237,8	5,09	33,49	0,209	0,025	2,90	43,40
Lavello	2016	IV	1410	0,686	14,56	0,061	0,239	0,799	7,34	6,48	1934	0,623	262,0	6,07	40,93	0,269	0,027	3,45	48,76
Favullo	2016	IV	1308	0,684	14,42	0,067	0,233	0,703	5,74	6,20	1589	0,519	233,5	4,81	32,31	0,199	0,026	3,15	47,77
Stabilimento	2016	IV	750	0,447	9,87	0,045	0,144	0,563	4,80	5,18	1103	0,616	159,8	3,60	22,51	0,212	0,016	2,33	41,15
Bizzarro	2017	I	1065	0,571	10,32	0,053	0,248	0,664	4,16	6,80	1226	0,280	156,5	4,73	6,60	0,174	0,011	2,31	59,42
Lamiola	2017	I	918	0,557	9,56	0,047	0,231	0,633	3,65	6,43	1174	0,308	159,2	4,68	6,37	0,174	0,010	2,05	63,32
Lavello	2017	I	818	0,513	8,58	0,042	0,194	0,595	3,19	6,81	1041	0,283	137,1	3,94	5,98	0,210	0,010	1,79	58,13
Favullo	2017	I	1126	0,641	12,14	0,063	0,228	0,699	4,19	8,20	1331	0,297	152,9	4,87	6,96	0,204	0,013	2,50	62,10
Stabilimento	2017	I	1020	0,602	11,75	0,047	0,210	0,710	4,61	7,71	1378	0,302	146,7	5,37	7,52	0,265	0,011	2,80	67,70
Bianco	2017	II	825	0,575	9,11	0,033	0,181	0,612	3,97	6,83	1130	0,284	157,1	4,51	5,02	0,167	0,008	1,73	56,40
Bizzarro	2017	II	1065	0,754	20,18	0,070	0,138	0,684	4,36	8,25	1078	0,399	76,9	3,40	10,26	0,195	0,039	2,77	28,81
Bianco	2017	III	576	0,636	10,33	0,023	0,254	0,716	4,25	5,66	794	0,321	116,4	6,65	17,15	0,187	0,018	2,01	32,25
Lamiola	2017	II	952	0,852	18,43	0,055	0,195	0,737	4,04	6,92	1135	0,454	81,4	4,52	15,59	0,236	0,034	2,73	30,01
Lavello	2017	II	985	0,768	17,55	0,061	0,198	0,648	3,63	8,65	1007	0,458	89,5	3,87	13,54	0,283	0,031	2,55	35,42
Stabilimento	2017	II	1002	0,673	17,00	0,053	0,196	0,660	4,06	10,33	1015	0,459	80,3	3,88	14,14	0,277	0,031	2,68	35,89
Bizzarro	2017	III	1240	1,123	19,94	0,073	0,321	0,982	6,60	8,58	1367	0,511	116,1	9,36	26,24	0,225	0,042	3,90	37,76
Lamiola	2017	III	1309	0,849	20,71	0,069	0,255	0,953	6,93	7,74	1377	0,485	115,9	8,53	22,47	0,226	0,043	3,88	39,64
Lavello	2017	III	1066	0,992	17,73	0,059	0,210	0,928	6,61	7,46	1272	0,486	109,1	7,92	20,86	0,237	0,039	3,31	34,30
Favullo	2017	III	1525	0,995	26,48	0,116	0,277	1,058	6,72	9,40	1442	0,456	134,1	8,59	22,66	0,231	0,060	4,13	37,21

Bianco	2017	IV	1048	0,722	16,90	0,038	0,255	0,605	4,82	6,44	1070	0,550	77,1	4,49	29,11	0,223	0,029	2,82	37,37
Stabilimento	2017	III	954	0,864	24,83	0,055	0,269	0,911	6,14	8,65	1055	0,520	123,7	7,52	35,93	0,353	0,036	3,51	43,44
Bizzarro	2017	IV	791	1,043	11,85	0,031	0,200	0,560	3,74	7,13	926	0,385	51,9	3,63	10,15	0,234	0,019	2,47	41,19
Lamiola	2017	IV	918	1,217	12,83	0,043	0,227	0,664	4,42	6,91	1174	0,414	57,0	4,69	11,58	0,235	0,023	2,87	49,07
Lavello	2017	IV	765	1,020	12,55	0,033	0,233	0,604	3,86	6,64	1018	0,432	60,7	4,18	14,90	0,267	0,018	2,37	40,47
Favullo	2017	IV	809	0,959	13,90	0,047	0,246	0,581	3,51	7,46	934	0,428	69,8	3,83	11,18	0,246	0,021	2,33	43,50
Stabilimento	2017	IV	688	0,977	17,99	0,035	0,377	0,626	4,19	8,45	960	0,522	71,5	4,78	24,99	0,412	0,018	2,38	54,81
Bianco	2018	I	563	0,846	9,32	0,022	0,232	0,740	4,89	5,88	822	0,355	105,5	6,94	12,83	0,166	0,014	1,94	36,64
Bizzarro	2018	I	793	0,755	15,40	0,042	0,224	0,984	5,71	7,61	1318	0,328	104,8	8,18	11,92	0,210	0,019	2,12	40,46
Bianco	2018	II	585	0,334	10,12	0,026	0,193	0,696	3,78	6,53	1012	0,423	103,1	4,98	18,79	0,236	0,012	0,83	42,20
Lamiola	2018	I	742	0,643	13,04	0,032	0,249	0,917	5,20	6,63	1183	0,350	103,9	8,52	12,43	0,201	0,019	1,73	43,56
Favullo	2018	I	888	0,781	15,82	0,059	0,190	1,025	5,81	8,35	1377	0,367	100,1	7,35	10,38	0,224	0,026	2,14	41,11
Lavello	2018	I	785	0,785	15,01	0,041	0,268	1,012	6,06	7,72	1379	0,375	113,8	9,37	17,71	0,273	0,024	2,06	43,06
Stabilimento	2018	I	719	0,662	16,38	0,030	0,239	1,016	6,44	8,07	1307	0,438	110,3	8,70	17,49	0,326	0,021	1,76	48,15
Bizzarro	2018	II	784	0,903	15,13	0,061	0,324	0,790	5,14	9,10	1004	0,387	103,0	5,85	17,02	0,241	0,019	2,81	44,27
Lamiola	2018	II	697	0,730	14,31	0,064	0,296	0,649	3,53	6,73	720	0,332	78,6	4,38	8,83	0,153	0,017	2,41	40,68
Lavello	2018	II	544	0,686	11,86	0,049	0,170	0,581	3,05	7,50	573	0,377	96,2	3,86	9,81	0,171	0,016	1,92	39,35
Favullo	2018	II	591	1,030	20,70	0,085	0,184	0,814	3,01	11,16	716	0,398	110,0	5,23	13,13	0,318	0,027	2,54	35,89
Stabilimento	2018	II	536	0,843	12,07	0,045	0,190	0,781	4,00	7,70	751	0,424	74,7	5,32	21,92	0,249	0,018	2,08	43,30
Bianco	2018	III	265	0,500	5,92	0,023	0,151	0,348	1,65	4,28	286	0,297	66,2	2,22	5,08	0,050	0,009	1,02	27,98
Bizzarro	2018	III	649	0,591	10,38	0,054	0,193	0,615	2,72	8,75	939	0,366	146,4	3,93	12,79	0,172	0,022	1,94	39,57
Lamiola	2018	III	681	0,693	11,01	0,064	0,229	0,661	2,62	9,09	1032	0,463	164,9	4,22	9,99	0,198	0,022	2,16	53,48
Bianco	2018	IV	452	0,718	8,00	0,024	0,208	0,634	2,89	6,77	844	0,470	110,3	4,42	7,59	0,221	0,013	1,34	40,70
Lavello	2018	III	664	0,708	10,80	0,059	0,241	0,708	2,61	8,33	1026	0,472	203,0	4,68	9,95	0,195	0,022	1,99	42,75
Favullo	2018	III	541	0,709	11,45	0,082	0,192	0,589	1,67	9,82	765	0,426	142,4	3,23	11,28	0,223	0,024	1,69	47,25
Stabilimento	2018	III	723	0,693	10,02	0,051	0,219	0,625	2,94	8,74	988	0,494	134,3	4,00	10,97	0,252	0,021	1,96	50,11
Bianco	2019	I	523	1,506	9,69	0,029	0,226	0,689	3,55	6,72	835	0,421	209,7	6,01	13,40	0,189	0,008	2,27	55,03
Bizzarro	2018	IV	464	2,217	8,92	0,031	0,175	0,679	3,03	7,68	842	0,253	89,5	4,67	6,60	0,194	0,013	2,51	42,82
Lamiola	2018	IV	367	2,654	7,96	0,030	0,144	0,676	2,75	6,52	719	0,228	82,5	4,13	4,16	0,173	0,011	2,10	39,70
Lavello	2018	IV	450	1,502	8,69	0,035	0,144	0,628	2,57	6,96	798	0,253	76,8	3,87	5,78	0,180	0,013	2,37	38,60
Favullo	2018	IV	632	1,527	11,20	0,047	0,197	0,781	3,45	8,65	946	0,266	107,5	4,88	6,62	0,185	0,016	2,77	57,11
Stabilimento	2018	IV	523	2,399	12,40	0,030	0,196	0,762	3,67	7,69	951	0,306	125,0	5,25	6,66	0,307	0,011	2,39	46,03
Bianco	2019	II	673	0,802	8,44	0,033	0,249	0,648	4,41	7,00	1128	0,515	94,1	4,99	16,05	0,322	0,018	2,41	45,38
Bizzarro	2019	I	625	0,662	11,79	0,040	0,160	0,593	3,44	6,30	896	0,357	126,6	4,20	10,10	0,291	0,017	2,20	57,83
Favullo	2019	I	770	0,916	10,90	0,050	0,176	0,704	3,84	7,74	1151	0,420	92,8	4,84	11,40	0,297	0,024	2,46	42,37

Lavello	2019	I	694	0,764	11,67	0,039	0,202	0,650	3,60	8,04	1025	0,500	128,8	5,68	14,78	0,320	0,019	2,43	45,69
Lamiola	2019	I	587	0,700	12,26	0,047	0,157	0,656	3,09	6,08	869	0,440	151,5	5,00	8,13	0,262	0,018	2,02	37,67
Stabilimento	2019	I	748	0,712	14,22	0,041	0,225	0,712	4,23	7,81	1143	0,507	133,0	5,35	21,37	0,419	0,020	2,36	49,98
Bianco	2019	III	441	0,654	6,99	0,026	0,171	0,494	2,84	7,70	785	0,454	112,5	3,31	8,24	0,168	0,013	1,54	37,81
Bizzarro	2019	II	619	0,911	9,65	0,047	0,310	0,635	4,12	8,57	1088	0,517	114,3	4,59	16,12	0,282	0,022	2,42	68,63
Lamiola	2019	II	618	0,726	11,09	0,051	0,425	0,612	3,36	6,83	989	0,475	104,9	3,99	12,49	0,221	0,020	2,29	46,22
Lavello	2019	II	539	0,835	12,33	0,044	0,284	0,579	2,94	7,70	958	0,520	83,6	3,76	11,12	0,274	0,019	2,03	43,07
Favullo	2019	II	852	0,939	15,57	0,086	0,273	0,743	4,32	11,21	1261	0,502	122,9	4,41	14,01	0,267	0,032	2,92	47,59
Stabilimento	2019	II	637	0,735	14,22	0,049	0,204	0,613	3,60	8,07	1025	0,379	82,1	3,62	12,47	0,435	0,023	2,44	45,68
Bizzarro	2019	III	491	0,640	10,38	0,049	0,191	0,575	3,15	7,85	965	0,377	123,3	3,70	7,06	0,195	0,016	1,88	75,48
Lamiola	2019	III	537	0,708	10,14	0,055	0,217	0,623	3,25	6,84	1006	0,380	161,3	3,88	6,61	0,225	0,018	1,95	45,94
Favullo	2019	III	1144	1,149	28,50	0,142	0,251	1,041	4,68	9,96	1779	0,379	171,4	5,71	10,59	0,267	0,040	4,04	47,20
Lavello	2019	III	376	0,642	8,74	0,037	0,258	0,565	2,63	6,81	862	0,389	139,7	4,12	9,41	0,255	0,014	1,61	45,02
Stabilimento	2019	III	604	0,659	10,53	0,050	0,195	0,661	4,47	7,84	1114	0,406	113,2	4,16	8,87	0,242	0,018	2,09	44,84
Bizzarro	2019	IV	871	0,517	10,21	0,038	0,300	0,260	3,40	6,26	768	0,549	123,4	4,60	7,74	0,271	0,022	1,89	76,75
Lamiola	2019	IV	836	0,513	10,49	0,043	0,290	0,311	2,97	5,47	759	0,483	124,8	4,76	7,54	0,309	0,022	1,89	40,51
Lavello	2019	IV	953	0,518	11,49	0,046	0,307	0,315	3,11	6,14	848	0,508	135,3	5,02	8,98	0,300	0,026	1,98	42,64
Stabilimento	2019	IV	989	0,571	14,13	0,054	0,372	0,374	4,06	7,30	920	0,638	127,7	6,12	12,68	0,643	0,032	2,26	52,92
Bianco	2020	I	925	0,644	7,73	0,035	0,310	0,394	4,67	6,17	1004	0,691	95,0	6,59	25,22	0,418	0,023	2,31	46,31
Bizzarro	2020	I	1283	0,710	13,54	0,065	0,379	0,427	4,84	7,38	1176	0,739	91,2	7,30	11,72	0,493	0,034	2,98	146,23
Lamiola	2020	I	903	0,536	8,35	0,044	0,247	0,337	3,40	5,50	814	0,548	93,5	5,03	10,14	0,304	0,024	2,01	43,36
Lavello	2020	I	974	0,516	10,17	0,052	0,315	0,333	3,17	6,03	834	0,670	99,2	4,97	10,68	0,303	0,030	2,07	42,70
Favullo	2020	I	1398	1,009	14,28	0,084	0,277	0,436	3,87	10,68	1152	0,498	85,2	6,01	9,74	0,588	0,035	2,94	56,17
Stabilimento	2020	I	1100	0,687	12,84	0,055	0,411	0,467	4,96	7,69	1082	0,713	99,0	7,06	19,27	0,780	0,036	2,65	57,30
Bianco	2020	II	674	0,467	6,38	0,029	0,196	0,256	2,89	4,94	651	0,555	114,7	3,89	6,09	0,251	0,021	1,44	32,25
Bizzarro	2020	II	1100	0,666	14,29	0,048	0,159	0,308	4,32	8,77	1063	0,417	155,7	6,13	8,82	0,415	0,014	2,53	67,78
Lamiola	2020	II	960	0,565	11,63	0,044	0,131	0,256	2,93	6,43	860	0,307	116,4	4,39	3,89	0,294	0,014	1,98	39,09
Lavello	2020	II	883	0,513	11,94	0,037	0,107	0,217	2,92	6,85	804	0,284	149,9	4,43	3,30	0,247	0,011	1,72	36,49
Favullo	2020	II	1258	0,739	15,79	0,073	0,113	0,325	3,27	9,23	1029	0,267	112,9	4,71	5,12	0,289	0,019	2,40	40,95
Stabilimento	2020	II	997	0,565	11,59	0,033	0,095	0,254	3,58	6,72	972	0,293	119,4	4,69	5,30	0,359	0,010	1,99	38,49
Bianco	2020	III	1145	0,660	12,34	0,034	0,155	0,273	4,55	5,93	1198	0,314	139,5	6,54	8,20	0,300	0,012	2,43	41,45
Bianco	2020	IV	971	0,431	10,13	0,023	0,079	0,249	3,63	5,67	884	0,268	142,7	4,61	2,50	0,175	0,007	1,86	36,84
Bizzarro	2020	III	1658	0,655	20,51	0,057	0,149	0,330	4,76	8,61	1310	0,290	145,6	6,68	9,11	0,252	0,016	3,47	89,52
Lamiola	2020	III	1685	0,589	17,03	0,063	0,114	0,337	4,24	7,15	1269	0,272	147,8	6,22	6,43	0,203	0,015	3,26	49,10
Favullo	2020	III	1886	0,755	19,96	0,077	0,123	0,419	4,50	10,01	1403	0,257	141,7	6,49	5,45	0,263	0,019	3,54	56,68

Lavello	2020	III	1436	0,550	16,58	0,051	0,138	0,287	3,52	7,38	1097	0,266	158,5	5,30	4,58	0,193	0,013	2,64	49,99
Stabilimento	2020	III	1573	0,571	18,08	0,049	0,126	0,341	4,69	7,53	1296	0,285	156,3	6,44	7,99	0,379	0,014	2,99	53,25
Bizzarro	2020	IV	1530	0,520	19,17	0,039	0,141	0,272	4,38	6,94	1225	0,325	133,7	5,41	3,63	0,312	0,012	2,46	184,93
Lamiola	2020	IV	1524	0,569	20,25	0,046	0,152	0,342	4,56	7,42	1284	0,383	139,3	7,24	5,63	0,458	0,013	2,94	56,26
Lavello	2020	IV	1420	0,603	19,57	0,039	0,195	0,325	4,34	7,31	1285	0,351	147,5	7,21	7,89	0,339	0,012	2,80	65,12
Favullo	2020	IV	1996	0,718	27,66	0,074	0,128	0,410	5,17	9,53	1674	0,284	147,7	8,04	4,38	0,538	0,017	3,96	68,25
Stabilimento	2020	IV	1402	0,468	20,84	0,036	0,162	0,275	3,71	7,20	1103	0,347	141,7	5,77	7,59	0,373	0,011	2,44	64,79

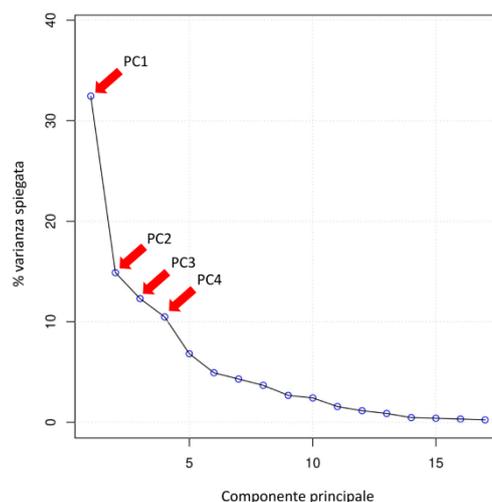
**Tabella 29.** Dati relativi ai metalli, all'antimonio e all'arsenico nei 23 bianchi e nei 118 campioni di lichene prelevati nei siti di monitoraggio di Rendina (Stabilimento), Bizzarro, Favullo, Lamiola e Lavello nel periodo 2015-2020. In rosso sono evidenziati i valori inferiori ai limiti di quantificazione, trattati secondo il criterio medium-bound.

Ai fini dell'elaborazione statistica qui presentata sono stati presi in considerazione i dati relativi al solo quinquennio 2016-2020 (98 campioni e 19 bianchi), escludendo quindi quelli riferiti all'anno 2015. Ciò è dovuto al fatto che la tecnica analitica utilizzata per l'analisi dei metalli a partire dal 2016 risulta differente da quella utilizzata nel 2015, per cui si è scelto di eliminare questa disomogeneità considerando campioni trattati sulla base della stessa procedura analitica.

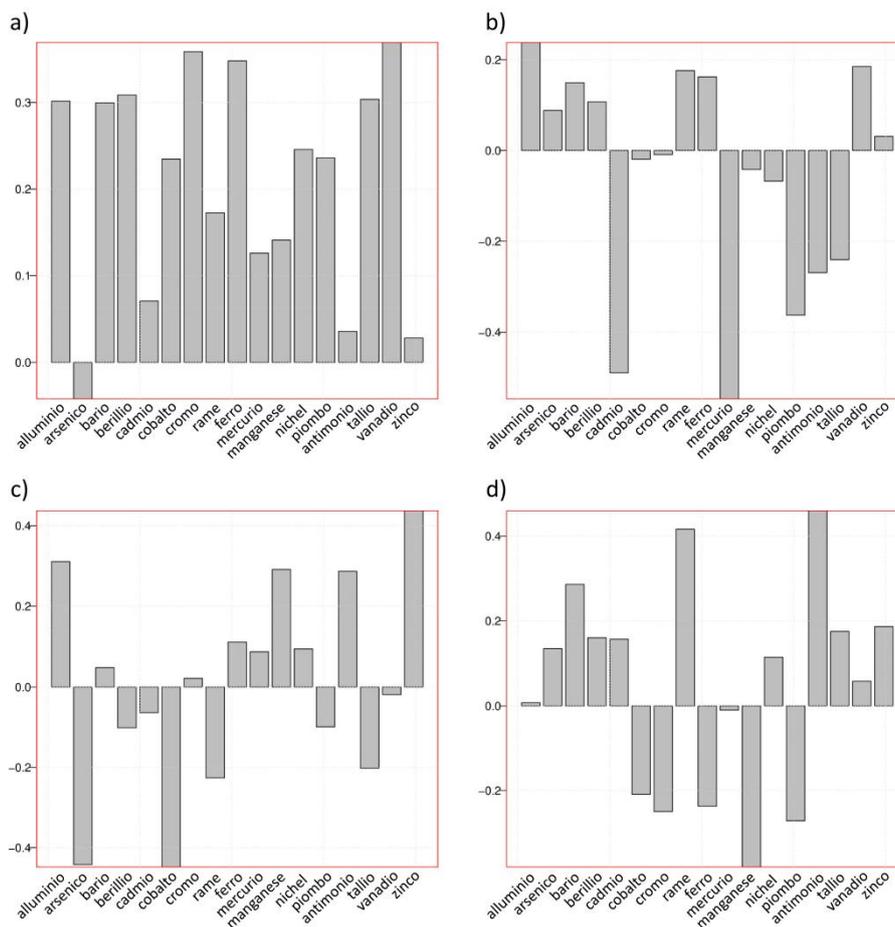
### Risultati e discussione

La distribuzione della varianza tra le componenti principali (figura 16) vede le componenti PC1 e PC2 descrivere insieme circa il 50% della varianza, mentre le due componenti successive, PC3 e PC4, descrivono un ulteriore 25%.

Esaminando i contributi delle variabili a queste quattro componenti principali (figura 17), si può osservare che la componente PC1, la cui percentuale di descrizione della varianza (32,5%) è predominante su quella delle altre componenti, riceve contributi significativi (di segno positivo) da numerose variabili, con una prevalenza di cromo, ferro e vanadio. Nella componente PC2 risultano dominanti i contributi (di segno negativo) da parte di cadmio, mercurio e piombo. La componente PC3 riceve il principale contributo di segno positivo da parte della variabile zinco, e significativi contributi di segno negativo da cobalto e arsenico. Infine, la componente PC4 è caratterizzata positivamente soprattutto da rame e antimonio e negativamente da manganese.

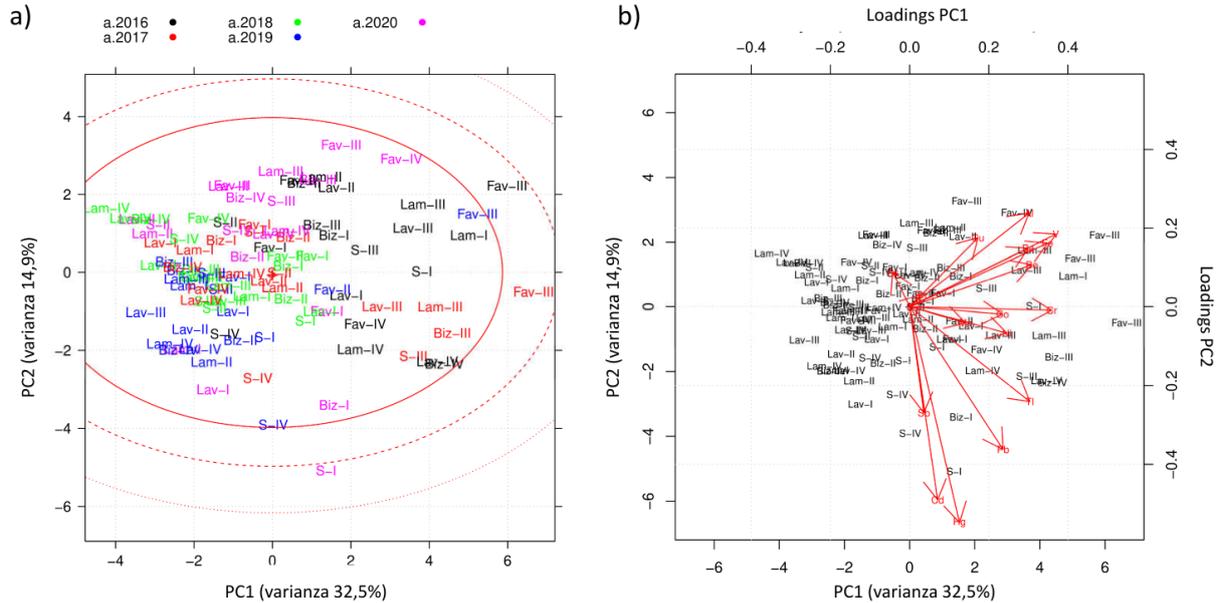


**Figura 16.** Percentuale di varianza associata alle componenti principali, con evidenziazione delle quattro componenti più significative.

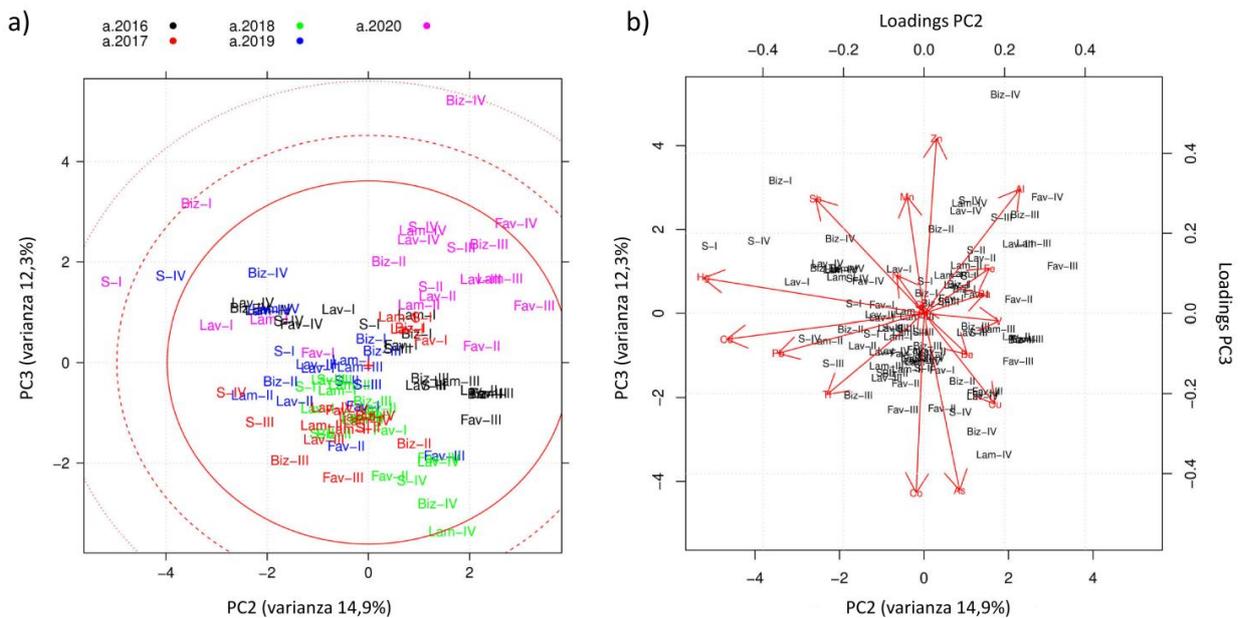


**Figura 17.** Loadings delle prime quattro componenti principali: a) PC1; b) PC2; c) PC3; d) PC4. I loadings, rappresentati sull'asse verticale dei grafici, sono i coefficienti numerici normalizzati (cioè con somma quadratica pari a 1 e valori compresi tra 1 e -1) che descrivono il contributo delle variabili originali alla determinazione delle componenti principali. Quanto più i valori sono vicini a 1 o a -1, tanto maggiori sono quindi i contributi delle rispettive variabili.

La rappresentazione grafica dei dati nel sistema delle componenti principali PC1/PC2 (figura 18), PC2/PC3 (figura 19) e PC3/PC4 (figura 20) offre uno sguardo ampio e arricchito da più punti di vista sulle differenze e somiglianze tra i campioni. Ne risulta un quadro complesso in cui i raggruppamenti tra campioni temporalmente coincidenti (stesso trimestre dello stesso anno), che si intravedono in tutti e tre i grafici, si accompagnano in alcuni casi, soprattutto in relazione alle prime due componenti principali, a una dispersione dei dati che rende poco chiare le distinzioni.

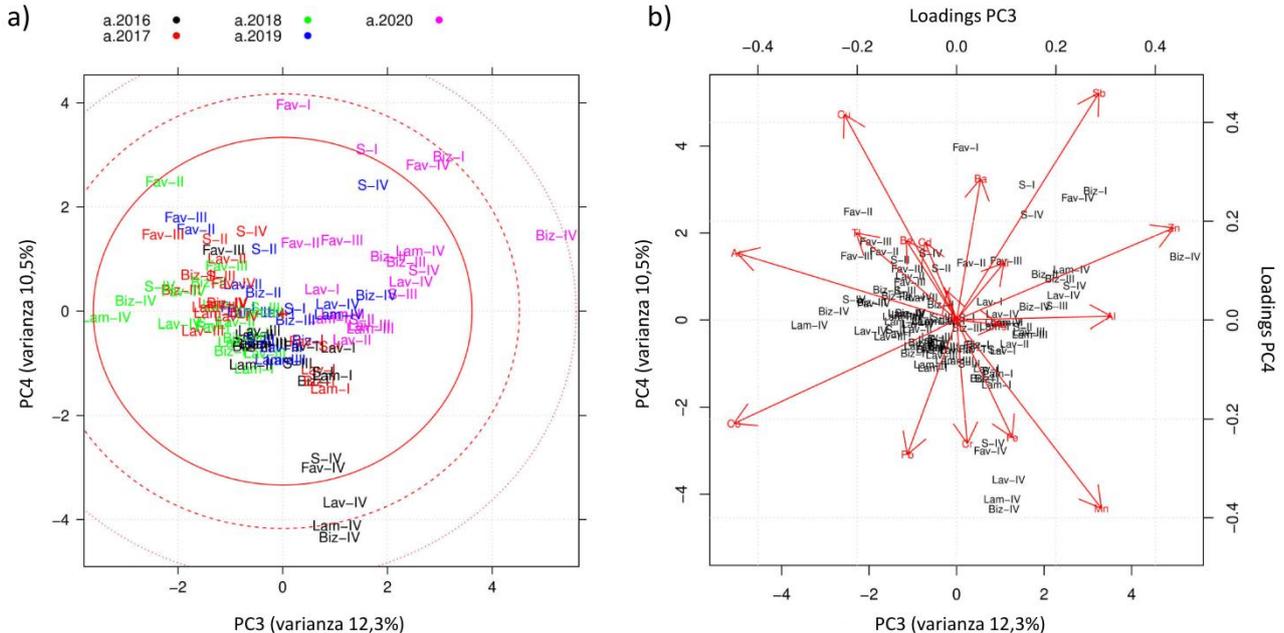


**Figura 18.** a) Rappresentazione grafica dei dati nel piano individuato dalle componenti principali PC1 e PC2 (score-plot). L'origine degli assi rappresenta la media dei dati. I dati sono caratterizzati da una sigla in cui le lettere indicano la stazione di monitoraggio (S=stabilimento di Rendina; Biz=Bizzarro; Fav=Favullo; Lam=Lamiola; Lav=Lavello) e i numerali romani (I, II, III, IV) il trimestre (con riferimento all'anno solare), mentre i differenti colori indicano l'anno solare di riferimento. Le ellissi presenti nel grafico e marcate con linee rosse piene e tratteggiate delimitano, dall'interno verso l'esterno, le aree corrispondenti ai livelli di confidenza del 95%, 99% e 99,9% nella distribuzione  $T^2$  della varianza. b) Rappresentazione grafica simultanea dei dati e delle variabili analitiche nello spazio delle componenti principali PC1 e PC2 (bi-plot). I loadings sono i coefficienti numerici normalizzati che descrivono il contributo delle variabili originali alla determinazione delle componenti principali.



**Figura 19.** a) Rappresentazione grafica dei dati nel piano individuato dalle componenti principali PC2 e PC3 (score-plot). L'origine degli assi rappresenta la media dei dati. I dati sono caratterizzati da una sigla in cui le lettere indicano la stazione di monitoraggio (S=stabilimento di Rendina; Biz=Bizzarro; Fav=Favullo; Lam=Lamiola; Lav=Lavello) e i numerali romani (I, II, III, IV) il trimestre (con riferimento all'anno solare), mentre i differenti colori indicano l'anno solare di riferimento. Le ellissi presenti nel grafico e marcate

con linee rosse piene e tratteggiate delimitano, dall'interno verso l'esterno, le aree corrispondenti ai livelli di confidenza del 95%, 99% e 99,9% nella distribuzione  $T^2$  della varianza. b) Rappresentazione grafica simultanea dei dati e delle variabili analitiche nello spazio delle componenti principali PC2 e PC3 (bi-plot). I loadings sono i coefficienti numerici normalizzati che descrivono il contributo delle variabili originali alla determinazione delle componenti principali.



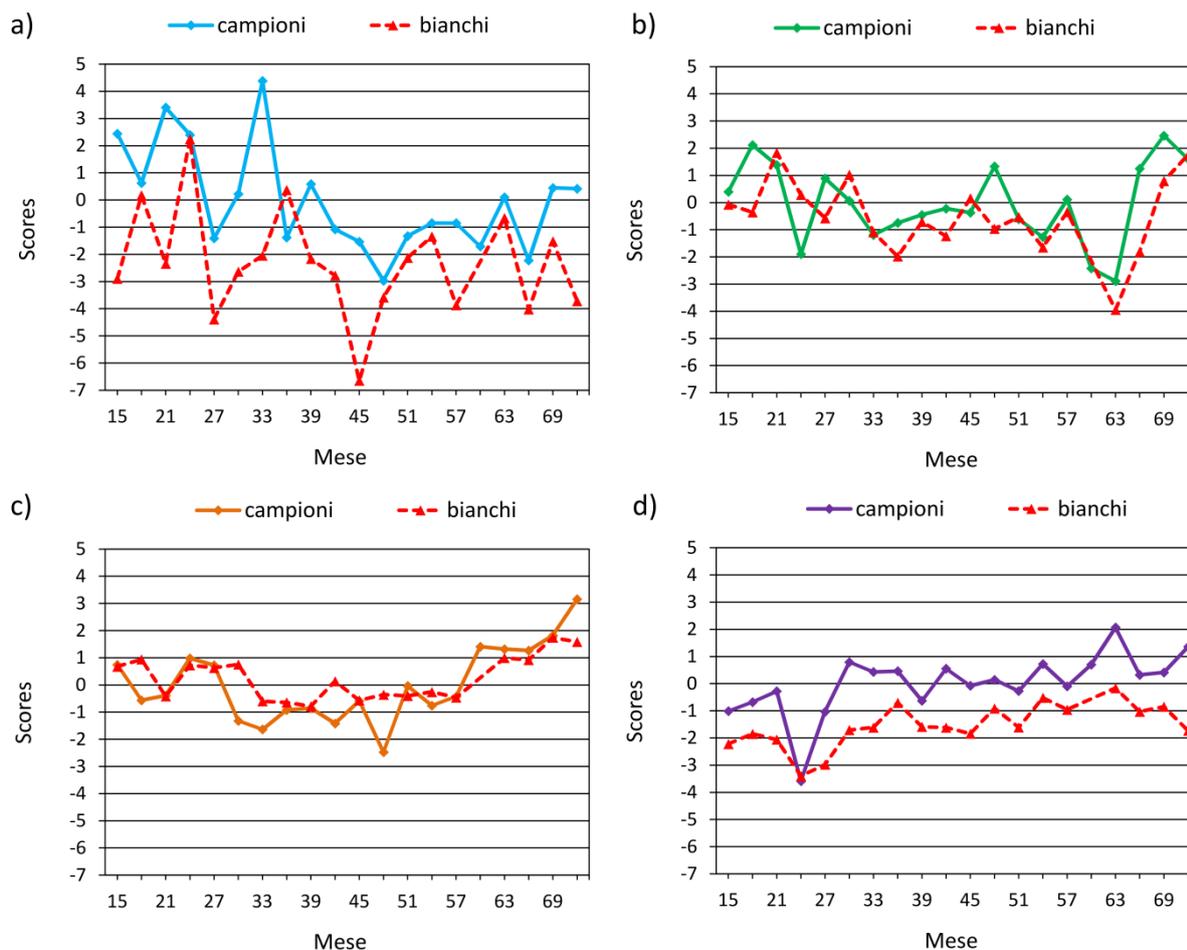
**Figura 20.** a) Rappresentazione grafica dei dati nel piano individuato dalle componenti principali PC3 e PC4 (score-plot). L'origine degli assi rappresenta la media dei dati. I dati sono caratterizzati da una sigla in cui le lettere indicano la stazione di monitoraggio (S=stabilimento di Rendina; Biz=Bizzarro; Fav=Favullo; Lam=Lamiola; Lav=Lavello) e numerali romani (I, II, III, IV) il trimestre (con riferimento all'anno solare), mentre i differenti colori indicano l'anno solare di riferimento. Le ellissi presenti nel grafico e marcate con linee rosse piene e tratteggiate delimitano, dall'interno verso l'esterno, le aree corrispondenti ai livelli di confidenza del 95%, 99% e 99,9% nella distribuzione  $T^2$  della varianza. b) Rappresentazione grafica simultanea dei dati e delle variabili analitiche nello spazio delle componenti principali PC3 e PC4 (bi-plot). I loadings sono i coefficienti numerici normalizzati che descrivono il contributo delle variabili originali alla determinazione delle componenti principali.

Risulta più utile per sviluppare la discussione considerare i valori medi dei campioni, sia presi nel loro insieme che distinti per sito/trimestre, e confrontarli con i valori dei bianchi.

Il confronto della media dei valori delle prime quattro componenti principali dei campioni con i rispettivi valori dei bianchi per ogni mese di campionamento (figura 21) mostra che i campioni presentano valori più elevati dei bianchi nelle componenti PC1 (figura 21a) e PC4 (figura 21d): infatti, come risulta dalla tabella 30, i valori della maggior parte degli analiti sono mediamente più elevati nei campioni che nei bianchi.

Soffermandosi sulla componente PC1 (figura 21a), che descrive in modo più ampio gli analiti in esame, è possibile osservare che il grafico dei campioni e in misura ancora più significativa quello dei bianchi presentano un andamento molto frastagliato, con variazioni notevoli tra punti

consecutivi, specialmente nel triennio 2016-2018; in questo periodo è anche più accentuata la difformità degli andamenti dei bianchi e dei campioni, soprattutto in corrispondenza dei mesi 15, 21, 33 e 45. Nel biennio 2019-2020 si osserva invece sia nei bianchi che nei campioni un andamento più regolare, con una tendenziale corrispondenza tra i picchi delle rispettive curve.



**Figura 21.** Rappresentazione delle medie dei valori (scores) delle componenti principali dei campioni e dei bianchi per mese di campionamento: a) PC1; b) PC2; c) PC3; d) PC4. La numerazione progressiva dei mesi segue l'anno solare, con inizio a gennaio 2015

	Campioni	Bianchi	%diff
<b>Alluminio</b>	1051	789	+33
<b>Arsenico</b>	0,787	0,639	+23
<b>Bario</b>	14,380	9,413	+53
<b>Berillio</b>	0,056	0,031	+78
<b>Cadmio</b>	0,216	0,192	+13
<b>Cobalto</b>	0,642	0,550	+17
<b>Cromo</b>	4,470	4,041	+11
<b>Rame</b>	7,769	5,933	+31
<b>Ferro</b>	1184	976	+21

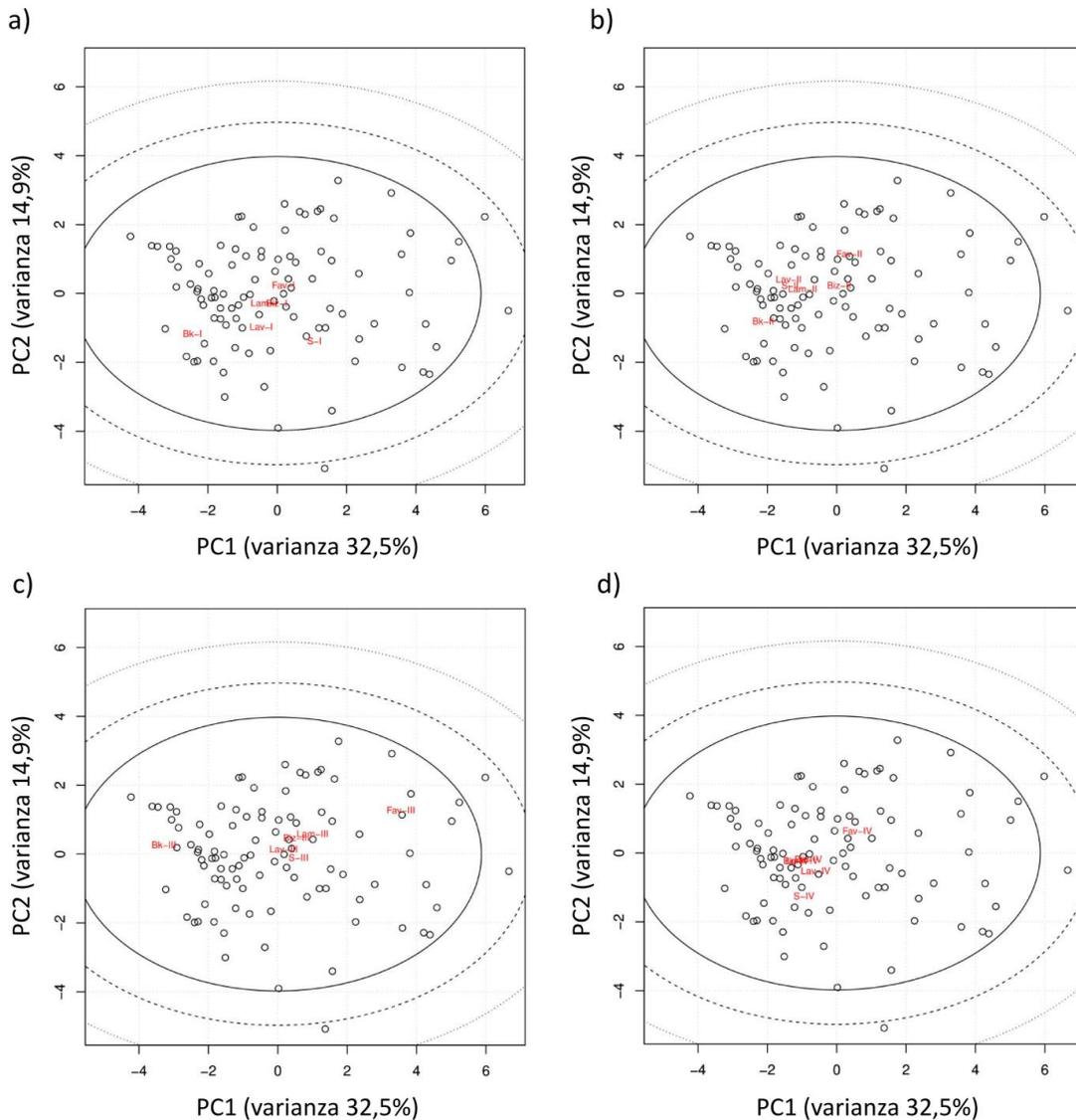
<b>Mercurio</b>	0,414	0,417	-0,7
<b>Manganese</b>	124	122	+1,4
<b>Nichel</b>	5,304	4,746	+12
<b>Piombo</b>	12,470	12,409	+0,5
<b>Antimonio</b>	0,270	0,205	+32
<b>Tallio</b>	0,022	0,015	+44
<b>Vanadio</b>	2,654	1,992	+33
<b>Zinco</b>	51	40	+26

**Tabella 30.** Valori medi degli analiti (in mg/kg) nei campioni e nei bianchi e incremento percentuale (%diff) nei campioni.

Se si proiettano nel piano delle componenti PC1 e PC2 le medie dei campioni calcolate per anno (figura 22a) e per sito (figura 22b) e le si confrontano con quelle dei bianchi, appare chiara, oltre alla già osservata differenza tra campioni e bianchi, una differenza tra il sito di Favullo (sigla Fav) e le altre stazioni di monitoraggio. Al netto della variabilità che si osserva tra un anno e l'altro e che non permette di apprezzare una tendenza pluriennale di aumento o diminuzione degli analiti monitorati, il confronto anno per anno tra la media dei campioni e quella dei bianchi vede sempre i campioni caratterizzarsi per un valore più alto della coordinata PC1 (figura 22a), la quale –si ricorda– descrive un insieme ampio di analiti, tra cui in particolare alluminio, bario, berillio, cromo, ferro, tallio e vanadio (vedi figura 17a). Per quanto riguarda le differenze tra i siti, i campioni provenienti dal sito di Favullo si distinguono per un valore della componente PC1 più elevato degli altri siti, i cui valori sono invece in linea con la media (figura 22b). Rispetto alla componente PC2, lo stesso sito di Favullo si caratterizza per un valore più elevato degli altri, mentre il sito di Rendina (sigla S) presenta un valore più negativo. Tenendo presente che la componente PC2 è inversamente correlata alle variabili cadmio, mercurio, piombo e antimonio (vedi figura 17b), questo significa che il sito di Favullo ha valori di questi analiti inferiori alla media dei campioni, mentre il sito di Rendina ha valori leggermente superiori. Nei termini delle variabili analitiche, l'entità delle differenze tra i siti appena illustrate è riportata in tabella 31.

	<b>Bizzarro</b>	<b>Favullo</b>	<b>Lamiola</b>	<b>Lavello</b>	<b>Rendina</b>
<b>Alluminio</b>	-1	16	1	-6	-8
<b>Arsenico</b>	-1	11	2	-7	-4
<b>Bario</b>	-4	18	-7	-8	3
<b>Berillio</b>	-7	41	-2	-11	-16
<b>Cadmio</b>	2	-6	0	0	3
<b>Cobalto</b>	-3	10	0	-5	0
<b>Cromo</b>	6	0	-2	-7	3
<b>Rame</b>	0	17	-11	-4	0





**Figura 23** Rappresentazione nello spazio delle componenti principali PC1 e PC2 delle medie dei bianchi (Bk) e delle medie dei campioni divisi per trimestre: a) primo trimestre; b) secondo trimestre; c) terzo trimestre; d) quarto trimestre. Per il significato delle sigle dei siti si rinvia alla legenda di figura 17.

## Conclusioni

Il dato più rilevante che emerge dall'analisi dei risultati è che i campioni presentano valori della maggior parte degli analiti più elevati rispetto a quelli dei corrispondenti bianchi. Disaggregando i dati per stagione e per sito di monitoraggio è stato osservato inoltre che tale differenza è più accentuata nei valori relativi alla stagione estiva e riguarda in modo particolare, tra i cinque siti monitorati, quello di Favullo. Queste due osservazioni meriterebbero di dare luogo a un lavoro di

approfondimento. In particolare, per approfondire le cause della differenza osservata tra i campioni e i bianchi e valutare meglio la sua rilevanza ai fini degli obiettivi del monitoraggio, occorrerebbe determinare attraverso un'ulteriore indagine lo scarto (che sicuramente esiste) tra i valori di fondo degli analiti monitorati nelle matrici naturali dell'ambiente di provenienza degli esemplari di licheni utilizzati e i valori di fondo che caratterizzano l'ambiente in cui si svolge il monitoraggio. Nell'arco di tempo quinquennale (2016-2020) su cui si è basata questa analisi non risulta comunque una tendenza consolidata all'aumento dei parametri oggetto di monitoraggio.

#### 4.2 Monitoraggio dei metalli pesanti in campioni di Tarassaco



Figura 24 Campione di tarassaco *Taraxacum officinale* esposto

Il capitolo 4.2 ha per oggetto un'elaborazione statistica dei dati riguardanti l'analisi di metalli in campioni di tarassaco (*Taraxacum officinale*) condotta nel quadro del programma di biomonitoraggio degli impatti ambientali dell'impianto di termovalorizzazione di Melfi (PZ).

Un totale di 93 campioni di tarassaco sono stati prelevati con cadenza trimestrale nel periodo 2015-2020 dai cinque siti di monitoraggio di Rendina, Bizzarro, Favullo, Lamiola e Lavello e per ogni campione sono state analizzate separatamente foglie e radici espressive rispettivamente delle ricadute per il comparto aria e il comparto suolo.

### **Trattamento dei dati**

I dati relativi ai 93 campioni analizzati sono riportati in tabella 32, dove i valori inferiori ai limiti di quantificazione (LOQ), evidenziati in rosso, sono stati trattati secondo il criterio “medium-bound”, cioè posti uguali alla metà dei rispettivi LOQ.

Sito	Anno	Trimestre	Matrice	Alluminio	Arsenico	Boro	Bario	Berillio	Cadmio	Cobalto	Cromo	Rame	Ferro	Manganese	Nichel	Piombo	Tallio	Vanadio	Zinco
				mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Stabilimento	2015	I	foglie	107,0	0,396	53,60	20,39	0,007	0,095	0,314	0,463	12,58	120,7	94,66	2,04	0,436	0,003	0,54	59,01
Stabilimento	2015	I	radici	180,7	0,283	24,87	16,01	0,017	0,050	0,270	3,610	8,17	143,3	17,65	2,96	0,227	0,003	1,58	18,86
Lamiola	2015	I	foglie	432,0	0,327	51,47	40,41	0,027	0,044	0,392	0,532	8,82	279,2	62,79	1,34	0,401	0,011	0,45	51,31
Lamiola	2015	I	radici	773,2	0,541	43,42	61,72	0,088	0,151	0,612	9,614	7,08	710,2	53,35	6,50	0,333	0,025	1,75	32,06
Bizzarro	2015	I	foglie	534,6	0,392	50,23	39,65	0,040	0,119	0,389	0,614	10,55	355,8	153,34	1,87	0,667	0,014	0,53	46,50
Bizzarro	2015	I	radici	1033,1	0,439	35,31	50,28	0,115	0,150	0,758	11,960	7,39	1037,3	66,06	8,42	0,641	0,025	1,03	27,50
Lavello	2015	I	foglie	412,6	0,345	32,83	19,37	0,030	0,095	0,199	0,527	11,53	324,0	48,47	1,90	0,533	0,014	0,56	38,51
Lavello	2015	I	radici	1451,3	0,549	60,94	92,01	0,156	0,381	1,002	11,081	23,95	1424,2	126,43	10,63	0,916	0,038	1,45	82,23
Favullo	2015	I	foglie	166,5	0,497	57,04	14,71	0,012	0,133	0,288	0,414	12,69	172,5	133,03	1,72	0,419	0,003	0,49	83,01
Favullo	2015	I	radici	734,9	0,469	51,62	40,32	0,072	0,141	0,858	15,230	8,76	844,4	104,73	12,14	0,451	0,029	1,68	49,42
Lamiola	2015	III	foglie	120,1	0,184	55,76	38,65	0,012	0,208	0,458	0,700	9,46	147,2	57,07	1,67	0,246	0,009	0,32	69,96
Lamiola	2015	III	radici	872,8	0,214	30,61	27,84	0,066	0,137	0,465	1,080	12,03	569,8	33,05	2,10	0,690	0,027	3,08	54,97
Bizzarro	2015	III	foglie	63,0	0,421	80,25	51,21	0,007	0,260	0,379	0,562	7,27	96,1	136,05	1,58	0,190	0,097	0,29	58,84
Bizzarro	2015	III	radici	349,6	0,149	23,16	24,18	0,027	0,112	0,447	0,455	5,09	261,3	49,47	2,28	0,256	0,065	2,17	25,37
Lavello	2015	III	foglie	37,3	0,256	53,05	32,08	0,007	0,156	0,339	0,492	11,77	85,1	132,35	1,55	0,263	0,008	0,34	89,14
Lavello	2015	III	radici	232,0	0,108	21,38	16,52	0,018	0,057	0,245	0,343	8,04	198,4	39,85	1,45	0,189	0,008	1,64	43,07
Favullo	2015	III	foglie	26,5	0,379	64,79	26,01	0,006	0,110	0,295	0,248	17,72	85,7	147,17	2,60	0,446	0,003	0,24	112,67
Favullo	2015	III	radici	153,5	0,221	26,63	15,90	0,013	0,053	0,221	0,298	12,75	144,2	45,48	1,79	0,228	0,003	1,52	45,85
Stabilimento	2015	III	foglie	158,2	0,297	63,57	39,33	0,013	0,269	0,350	0,512	9,73	168,6	210,95	1,28	0,443	0,023	0,53	99,90
Stabilimento	2015	III	radici	133,9	0,080	27,55	14,47	0,014	0,104	0,208	0,223	9,28	123,5	42,46	0,88	0,112	0,012	1,51	35,05
Bizzarro	2015	IV	foglie	320,2	0,219	43,46	48,19	0,021	0,255	0,506	0,789	22,50	277,3	70,43	4,20	0,467	0,048	1,57	120,21
Bizzarro	2015	IV	radici	312,4	0,178	31,23	37,03	0,028	0,150	0,458	0,510	17,77	305,3	70,44	4,45	0,414	0,064	3,29	52,32
Lamiola	2015	IV	foglie	123,8	0,120	34,70	31,15	0,012	0,113	0,223	0,475	7,51	130,9	28,11	1,27	0,124	0,012	0,55	58,06
Lamiola	2015	IV	radici	151,1	0,082	13,55	18,22	0,014	0,062	0,168	0,245	6,80	128,3	9,72	1,24	0,053	0,022	1,21	41,33
Lavello	2015	IV	foglie	169,2	0,133	35,05	26,69	0,015	0,105	0,260	0,767	14,38	206,1	41,57	2,24	0,469	0,012	0,74	64,37
Lavello	2015	IV	radici	306,6	0,159	25,41	24,88	0,026	0,061	0,290	0,567	7,89	293,9	64,12	1,73	0,373	0,013	1,82	34,67
Favullo	2015	IV	foglie	80,7	0,155	31,41	20,94	0,007	0,183	0,157	0,380	10,99	112,3	51,42	1,45	0,096	0,003	0,25	46,84
Favullo	2015	IV	radici	190,8	0,062	2,50	10,42	0,016	0,068	0,109	0,466	7,17	279,4	11,42	0,89	0,025	0,012	0,43	17,24
Stabilimento	2015	IV	foglie	56,0	0,078	36,86	13,49	0,003	0,121	0,245	0,348	9,81	102,4	33,63	1,91	0,311	0,009	0,21	48,67

Stabilimento	2015	IV	radici	399,1	0,132	29,43	19,16	0,027	0,142	0,426	0,672	12,61	366,8	59,31	2,82	0,368	0,020	1,37	57,25
Bizzarro	2016	I	foglie	194,4	0,206	34,06	41,18	0,015	0,217	0,445	0,565	16,93	216,1	70,38	2,02	0,341	0,040	0,68	71,37
Bizzarro	2016	I	radici	181,2	0,171	22,40	38,60	0,016	0,165	0,380	2,518	15,00	208,3	35,63	3,81	0,389	0,098	2,69	31,35
Lavello	2016	I	foglie	139,0	0,182	27,27	23,79	0,012	0,122	0,247	0,516	16,26	191,4	66,82	2,02	0,327	0,008	0,45	75,41
Lavello	2016	I	radici	156,7	0,175	19,18	21,76	0,012	0,089	0,302	1,812	14,58	192,9	34,24	2,78	0,415	0,023	2,44	35,48
Favullo	2016	I	foglie	102,5	0,272	30,33	21,05	0,010	0,092	0,282	0,485	17,70	218,3	103,04	1,30	0,272	0,005	0,40	93,34
Favullo	2016	I	radici	156,1	0,189	20,68	21,60	0,012	0,089	0,273	3,086	26,75	220,6	51,67	3,01	0,373	0,006	1,78	40,17
Lamiola	2016	I	foglie	233,0	0,156	45,54	42,96	0,020	0,200	0,386	0,562	11,92	249,4	45,79	1,68	0,342	0,008	0,58	71,81
Lamiola	2016	I	radici	475,8	0,198	21,02	36,42	0,042	0,137	0,347	4,562	11,38	444,6	23,41	2,25	0,302	0,023	2,63	33,27
Stabilimento	2016	I	foglie	82,8	0,155	36,31	24,31	0,006	0,150	0,265	0,276	13,52	111,8	82,92	1,08	0,276	0,010	0,24	58,26
Stabilimento	2016	I	radici	164,8	0,100	17,06	24,44	0,016	0,114	0,427	6,047	11,33	215,8	30,93	2,82	0,221	0,029	1,93	27,74
Bizzarro	2016	II	foglie	91,7	0,277	38,07	38,51	0,007	0,259	0,221	0,391	17,67	103,7	33,73	2,97	0,231	0,039	0,35	69,10
Bizzarro	2016	II	radici	264,8	0,164	17,93	31,28	0,014	0,188	0,357	3,274	20,08	261,8	19,29	5,99	0,291	0,085	2,79	35,93
Lamiola	2016	II	foglie	119,2	0,318	39,01	40,55	0,007	0,252	0,313	0,811	16,47	141,5	35,03	2,68	0,270	0,013	0,43	89,89
Lamiola	2016	II	radici	308,9	0,087	14,79	20,21	0,017	0,110	0,203	1,909	14,67	238,4	9,55	1,95	0,269	0,015	1,38	38,42
Lavello	2016	II	foglie	142,2	0,275	35,86	24,67	0,008	0,121	0,279	0,593	15,26	153,0	48,72	2,03	0,214	0,013	0,50	66,76
Lavello	2016	II	radici	219,1	0,110	16,62	19,19	0,015	0,048	0,250	1,794	13,45	212,3	19,87	2,50	0,350	0,016	2,54	35,72
Favullo	2016	II	foglie	168,0	0,208	38,34	20,65	0,009	0,082	0,208	0,493	15,07	169,0	64,04	3,02	0,288	0,006	0,54	83,10
Favullo	2016	II	radici	377,2	0,253	17,54	21,34	0,019	0,043	0,269	2,526	14,59	331,2	29,93	4,07	0,364	0,012	3,12	43,90
Stabilimento	2016	II	foglie	176,9	0,352	43,75	28,33	0,010	0,146	0,218	0,661	11,82	161,5	68,81	1,52	0,252	0,011	0,56	55,79
Stabilimento	2016	II	radici	381,1	0,115	13,65	15,53	0,024	0,067	0,272	2,481	8,96	318,5	17,26	2,33	0,418	0,014	1,88	24,38
Bizzarro	2016	III	foglie	322,4	0,361	56,80	32,48	0,014	0,131	0,233	0,680	20,83	153,7	49,07	2,90	0,281	0,025	0,63	106,05
Bizzarro	2016	III	radici	290,8	0,248	25,91	44,79	0,022	0,058	0,284	2,410	24,77	270,0	42,43	4,66	0,989	0,027	2,46	60,65
Lamiola	2016	III	foglie	115,1	0,395	47,19	34,13	0,011	0,266	0,209	0,467	14,07	130,3	52,97	2,21	0,201	0,010	0,69	141,98
Lamiola	2016	III	radici	334,7	0,139	22,96	22,76	0,028	0,083	0,206	3,194	18,28	288,8	21,42	2,73	0,244	0,018	2,26	53,26
Favullo	2016	III	foglie	419,1	0,674	52,26	34,32	0,032	0,138	0,460	1,431	17,96	360,6	224,82	2,53	0,451	0,014	1,53	207,96
Favullo	2016	III	radici	148,6	0,116	22,13	25,20	0,012	0,051	0,205	2,865	22,57	186,9	42,62	3,99	0,211	0,007	1,50	57,34
Lavello	2016	III	foglie	413,7	0,398	44,84	27,80	0,026	0,089	0,349	0,837	12,68	316,0	111,96	1,85	0,468	0,015	1,34	65,04
Lavello	2016	III	radici	553,1	0,242	22,03	22,70	0,037	0,018	0,384	2,232	49,27	426,7	54,05	7,62	0,692	0,017	4,95	62,26
Stabilimento	2016	III	foglie	180,2	0,354	52,20	34,29	0,016	0,174	0,352	0,661	11,38	193,9	153,97	1,76	0,458	0,024	0,78	105,02
Stabilimento	2016	III	radici	569,5	0,174	21,39	21,07	0,035	0,026	0,300	3,803	18,68	378,4	44,56	3,80	0,431	0,024	2,91	49,84
Bizzarro	2017	I	foglie	1004,0	0,587	55,49	44,95	0,082	0,182	0,474	1,735	16,59	718,8	70,76	2,18	1,019	0,042	2,70	71,04
Bizzarro	2017	I	radici	572,3	0,197	32,62	39,21	0,052	0,136	0,324	0,929	23,35	387,2	51,20	1,66	0,535	0,043	3,00	42,47
Lamiola	2017	I	foglie	257,1	0,280	48,56	34,53	0,021	0,284	0,252	0,766	9,47	203,0	49,00	1,66	0,261	0,010	0,49	84,16
Lamiola	2017	I	radici	484,6	0,155	43,79	40,89	0,044	0,255	0,254	1,008	12,97	318,0	26,83	1,86	0,299	0,029	2,68	86,49

Lavello	2017	I	foglie	68,5	0,290	41,14	13,95	0,007	0,059	0,100	0,324	7,83	81,2	32,59	0,98	0,153	0,007	0,15	33,97
Lavello	2017	I	radici	153,8	0,076	37,04	28,30	0,014	0,071	0,206	0,383	13,90	127,3	29,26	2,20	0,195	0,016	1,60	50,41
Favullo	2017	I	foglie	177,4	0,351	47,85	23,79	0,016	0,081	0,204	0,553	12,88	170,2	100,51	1,27	0,249	0,006	0,44	102,99
Favullo	2017	I	radici	222,8	0,115	31,66	19,65	0,022	0,049	0,225	0,511	18,63	188,8	50,17	1,69	0,237	0,006	2,74	57,96
Stabilimento	2017	I	foglie	286,1	0,282	52,32	28,85	0,023	0,107	0,278	0,785	8,08	251,4	73,94	1,32	0,281	0,011	0,55	55,28
Stabilimento	2017	I	radici	638,5	0,163	34,22	36,27	0,054	0,101	0,404	1,119	9,74	417,2	59,54	1,37	0,399	0,021	3,64	55,01
Bizzarro	2017	II	foglie	352,0	0,580	90,53	48,54	0,024	0,448	0,708	0,674	17,43	308,6	72,11	2,93	0,611	0,109	1,18	56,69
Bizzarro	2017	II	radici	939,0	0,526	94,48	53,14	0,070	0,304	0,757	3,193	15,03	759,7	46,66	3,83	1,154	0,074	5,26	26,51
Lamiola	2017	II	foglie	118,0	0,612	83,76	53,02	0,008	0,284	0,187	0,467	12,69	161,5	42,61	1,59	0,308	0,040	0,63	65,80
Lamiola	2017	II	radici	315,9	0,280	89,30	49,89	0,024	0,131	0,222	1,276	13,82	256,5	18,36	1,80	0,375	0,025	2,79	23,05
Favullo	2017	II	foglie	157,1	0,891	102,86	48,12	0,013	0,091	0,273	0,495	12,32	239,1	101,01	1,75	0,451	0,030	0,85	63,15
Favullo	2017	II	radici	184,5	0,305	88,63	31,61	0,012	0,040	0,220	3,654	10,44	223,4	27,61	3,16	0,391	0,009	1,58	31,27
Lavello	2017	II	foglie	144,6	0,800	106,29	49,53	0,013	0,147	0,268	0,491	12,89	207,5	95,81	1,51	0,378	0,027	0,80	46,61
Lavello	2017	II	radici	120,1	0,241	91,37	35,49	0,008	0,053	0,202	1,794	10,13	130,0	14,64	2,15	0,259	0,009	1,96	15,54
Stabilimento	2017	II	foglie	410,1	0,608	115,05	61,57	0,031	0,175	0,369	0,996	10,88	410,8	81,04	1,65	1,141	0,061	1,31	81,79
Stabilimento	2017	II	radici	132,7	0,200	91,35	38,80	0,009	0,056	0,125	1,372	8,61	127,6	10,05	1,56	0,390	0,012	1,37	13,60
Bizzarro	2017	III	foglie	2138,1	1,177	38,68	57,26	0,140	0,182	0,951	3,406	22,77	1695,2	63,93	5,58	3,267	0,114	5,10	55,17
Bizzarro	2017	III	radici	867,7	0,420	17,54	44,73	0,049	0,189	0,584	6,040	18,55	608,4	44,56	7,16	1,157	0,070	4,30	30,58
Lamiola	2017	III	foglie	462,5	1,155	43,76	48,25	0,038	0,143	0,325	1,359	13,48	442,3	37,05	1,97	0,535	0,037	1,50	58,62
Lamiola	2017	III	radici	131,6	0,320	17,70	35,73	0,010	0,126	0,157	2,028	16,12	145,1	15,46	2,90	0,211	0,032	1,50	35,29
Lavello	2017	III	foglie	1063,9	1,663	44,67	49,84	0,083	0,068	0,623	1,825	9,26	1041,0	85,82	2,54	1,453	0,041	3,08	42,76
Lavello	2017	III	radici	129,0	0,432	12,91	18,02	0,010	0,039	0,222	6,501	10,60	202,3	20,16	2,57	0,400	0,012	1,89	27,31
Stabilimento	2017	III	foglie	371,6	1,293	50,58	44,60	0,030	0,109	0,391	1,267	10,08	400,2	99,46	1,47	0,803	0,041	1,50	37,97
Stabilimento	2017	III	radici	152,4	0,312	11,72	18,63	0,010	0,063	0,219	1,073	10,49	159,7	22,48	1,27	0,269	0,032	2,33	25,36
Favullo	2017	IV	foglie	240,8	1,136	37,35	23,48	0,020	0,054	0,284	1,024	25,63	280,8	67,24	3,92	0,730	0,016	1,43	79,64
Favullo	2017	IV	radici	238,7	0,653	24,53	27,88	0,018	0,047	0,249	0,700	21,17	239,0	51,45	2,07	0,431	0,019	2,86	36,26
Lamiola	2017	IV	foglie	320,4	0,839	36,64	30,68	0,028	0,084	0,300	1,195	23,79	275,9	17,82	2,30	0,431	0,024	1,31	77,66
Lamiola	2017	IV	radici	254,5	0,542	22,18	34,67	0,022	0,088	0,301	0,664	24,61	251,9	35,33	2,78	0,384	0,030	2,07	43,57
Stabilimento	2017	IV	foglie	663,1	1,078	32,15	47,62	0,062	0,125	0,366	1,853	9,03	534,8	37,21	2,50	2,642	0,036	2,40	36,41
Stabilimento	2017	IV	radici	496,5	0,416	10,63	27,78	0,039	0,063	0,304	1,072	9,32	433,2	18,84	1,20	0,575	0,048	2,66	15,42
Bizzarro	2018	I	foglie	532,7	0,492	23,28	41,58	0,030	0,110	0,470	0,788	12,32	334,8	27,84	1,81	0,707	0,025	1,91	28,35
Bizzarro	2018	I	radici	618,5	0,640	23,62	64,75	0,055	0,195	0,561	1,227	23,38	610,7	58,92	3,07	1,399	0,074	3,14	37,70
Lamiola	2018	I	foglie	1888,8	1,485	21,27	71,33	0,206	0,142	1,713	2,572	13,30	1820,7	101,06	5,04	3,580	0,097	6,60	34,37
Lamiola	2018	I	radici	748,1	0,598	21,12	55,75	0,072	0,114	0,685	1,539	23,74	788,6	41,89	2,88	1,001	0,056	3,70	26,37

Favullo	2018	I	foglie	358,1	0,942	23,42	31,28	0,027	0,061	0,369	0,699	15,36	397,1	57,37	2,12	0,668	0,014	2,07	46,99
Favullo	2018	I	radici	325,2	0,392	21,19	31,72	0,027	0,046	0,361	0,830	23,64	381,8	45,81	1,95	0,611	0,017	1,50	29,85
Lavello	2018	I	foglie	297,4	0,777	21,60	32,23	0,023	0,073	0,367	0,656	7,76	321,0	44,00	2,15	8,575	0,015	1,80	32,28
Lavello	2018	I	radici	879,2	0,349	36,34	64,55	0,077	0,106	0,743	1,696	20,54	816,9	65,63	3,05	11,319	0,042	4,02	52,64
Stabilimento	2018	I	foglie	664,5	0,921	21,30	43,03	0,045	0,126	0,533	1,205	10,91	624,5	58,54	2,31	1,477	0,035	2,96	31,45
Stabilimento	2018	I	radici	862,0	0,229	27,24	59,21	0,076	0,135	0,624	1,707	13,27	777,6	58,48	2,28	1,394	0,046	3,88	33,40
Bizzarro	2018	II	foglie	301,3	0,679	26,65	36,82	0,044	0,271	0,353	0,746	20,99	228,3	38,79	2,95	0,672	0,019	2,36	42,56
Bizzarro	2018	II	radici	570,3	1,280	80,25	64,11	0,067	0,593	0,488	1,608	32,50	444,9	50,60	5,28	0,662	0,023	2,74	92,10
Lamiola	2018	II	foglie	455,2	0,660	29,67	24,26	0,063	0,281	0,441	1,166	14,79	350,9	40,62	2,04	0,700	0,033	2,28	48,22
Lamiola	2018	II	radici	378,3	0,502	22,30	26,24	0,035	0,215	0,239	0,842	18,65	235,9	28,33	2,28	0,357	0,015	2,03	34,70
Lavello	2018	II	foglie	476,6	1,007	45,98	29,54	0,060	0,201	0,530	1,290	20,51	407,5	57,76	3,42	1,730	0,029	2,36	72,61
Lavello	2018	II	radici	640,7	0,909	36,30	46,00	0,090	0,211	0,818	1,445	29,05	532,1	75,79	3,38	2,481	0,027	8,47	85,67
Stabilimento	2018	II	foglie	573,3	1,011	45,24	37,73	0,069	0,258	0,762	1,470	21,46	458,2	63,45	4,44	1,538	0,022	2,70	64,20
Stabilimento	2018	II	radici	303,2	0,264	19,41	19,30	0,033	0,152	0,244	0,698	14,91	197,8	18,71	1,68	0,387	0,021	3,39	33,05
Bizzarro	2018	III	foglie	118,3	0,268	38,62	40,34	0,012	0,320	0,220	0,324	19,54	171,2	73,54	2,57	0,264	0,025	0,49	57,16
Bizzarro	2018	III	radici	304,3	0,230	27,10	30,86	0,032	0,197	0,273	0,864	13,56	310,5	35,84	1,50	0,809	0,033	3,52	27,60
Lamiola	2018	III	foglie	296,8	0,295	47,61	37,12	0,039	0,233	0,337	0,652	19,72	372,4	52,26	2,73	0,444	0,018	1,06	80,45
Lamiola	2018	III	radici	85,4	0,057	28,05	27,35	0,007	0,148	0,132	0,411	17,19	104,8	16,20	1,90	0,241	0,015	1,13	39,97
Lavello	2018	III	foglie	155,6	0,303	35,40	26,54	0,022	0,347	0,456	0,662	20,93	226,8	97,47	2,63	0,569	0,015	0,92	74,63
Lavello	2018	III	radici	100,5	0,166	29,78	21,87	0,015	0,111	0,239	0,330	20,64	129,9	44,43	1,48	0,567	0,012	3,08	42,20
Favullo	2018	III	foglie	81,7	0,273	41,19	24,09	0,011	0,115	0,232	0,327	30,88	145,8	158,22	2,54	0,215	0,007	0,41	100,78
Favullo	2018	III	radici	54,0	0,098	26,97	14,46	0,005	0,064	0,127	0,247	24,14	79,9	78,45	1,38	0,158	0,003	0,81	34,53
Stabilimento	2018	III	foglie	256,3	0,352	54,00	40,63	0,040	0,229	0,501	1,154	12,94	313,2	173,92	1,94	0,623	0,036	0,97	72,54
Stabilimento	2018	III	radici	153,1	0,129	19,95	19,32	0,025	0,103	0,306	0,410	11,34	175,3	42,60	1,42	0,256	0,019	2,00	38,48
Bizzarro	2019	I	foglie	88,4	0,599	39,23	41,22	0,008	0,393	0,137	1,423	13,97	100,6	80,90	1,65	0,220	0,003	0,54	62,03
Bizzarro	2019	I	radici	129,3	0,376	19,85	24,64	0,008	0,407	0,180	2,246	17,55	207,6	42,08	1,22	0,604	0,007	0,63	26,60
Favullo	2019	I	foglie	86,0	0,551	21,34	6,64	0,010	0,083	0,094	1,389	7,38	100,1	24,06	0,80	0,305	0,064	1,01	26,99
Favullo	2019	I	radici	124,8	0,362	28,43	11,83	0,011	0,148	0,150	1,630	18,25	180,2	23,96	1,18	0,414	0,118	1,45	28,42
Lavello	2019	I	foglie	55,4	0,858	22,05	11,00	0,006	0,144	0,082	1,381	5,53	62,3	28,18	0,73	0,313	0,003	0,43	28,21
Lavello	2019	I	radici	31,1	0,194	24,79	15,78	0,003	0,196	0,088	1,388	12,07	54,8	17,22	0,93	0,333	0,006	0,37	21,90
Lamiola	2019	I	foglie	136,7	0,462	23,13	14,37	0,016	0,075	0,120	1,571	9,13	129,3	23,88	0,92	0,539	0,065	0,70	41,79
Lamiola	2019	I	radici	32,3	0,103	16,15	8,29	0,003	0,045	0,067	0,870	10,99	30,8	13,88	0,27	0,132	0,053	0,28	25,84
Stabilimento	2019	I	foglie	437,9	0,622	31,23	37,64	0,053	0,121	0,388	3,302	25,19	432,6	51,18	2,42	0,907	0,048	3,92	109,25
Stabilimento	2019	I	radici	457,2	0,444	46,45	54,61	0,055	0,125	0,426	3,407	27,18	440,5	47,26	3,77	0,805	0,057	4,97	56,34
Bizzarro	2019	II	foglie	132,2	0,644	38,92	27,09	0,016	0,417	0,127	2,059	18,84	143,9	58,40	1,87	0,515	0,119	0,91	82,67

Bizzarro	2019	II	radici	112,6	0,253	23,21	23,98	0,012	0,241	0,140	1,438	14,37	149,2	33,02	1,38	0,427	0,142	1,81	54,45
Lamiola	2019	II	foglie	52,2	0,621	31,70	11,06	0,007	0,229	0,106	1,812	19,05	84,5	43,06	1,06	0,224	0,106	0,65	80,28
Lamiola	2019	II	radici	108,4	0,249	24,97	10,43	0,017	0,092	0,127	2,256	10,47	124,1	15,09	0,58	0,264	0,070	2,05	36,67
Stabilimento	2019	II	foglie	242,7	0,712	32,36	28,84	0,030	0,223	0,489	2,502	16,47	279,8	64,43	1,73	0,518	0,035	1,69	57,30
Stabilimento	2019	II	radici	137,9	0,146	16,96	12,36	0,016	0,074	0,214	0,848	10,18	125,5	14,40	0,77	0,216	0,013	3,95	18,42
Bizzarro	2019	III	foglie	251,9	0,303	41,86	24,76	0,029	0,310	0,239	1,792	20,18	355,7	59,35	2,54	0,530	0,023	0,83	65,60
Bizzarro	2019	III	radici	62,8	0,226	23,62	20,95	0,010	0,250	0,127	1,226	31,83	171,4	15,66	1,89	0,242	0,034	1,45	34,46
Lamiola	2019	III	foglie	94,4	0,345	37,73	13,13	0,014	0,172	0,137	1,375	12,39	169,3	45,26	1,24	0,213	0,013	0,41	39,77
Lamiola	2019	III	radici	355,4	0,571	18,94	13,29	0,056	0,147	0,496	2,623	23,21	709,6	33,96	3,47	0,891	0,047	3,19	31,59
Favullo	2019	III	foglie	81,8	0,584	44,81	6,12	0,013	0,189	0,166	1,459	11,25	154,9	72,09	1,49	0,215	0,014	0,37	52,97
Favullo	2019	III	radici	43,1	0,291	25,40	5,05	0,007	0,145	0,140	1,098	30,09	111,3	21,77	2,02	0,214	0,024	1,62	30,19
Lavello	2019	III	foglie	58,6	0,445	38,60	12,49	0,009	0,397	0,156	1,720	14,70	141,0	88,29	1,74	0,378	0,003	0,38	60,50
Lavello	2019	III	radici	131,8	0,586	20,68	10,64	0,021	0,206	0,288	2,023	20,63	297,0	32,54	2,38	2,454	0,015	2,04	31,23
Stabilimento	2019	III	foglie	105,1	0,290	40,94	27,82	0,015	0,093	0,333	1,554	12,34	173,8	103,13	1,15	0,327	0,011	0,55	31,70
Stabilimento	2019	III	radici	184,5	0,152	11,22	13,54	0,026	0,046	0,267	0,826	10,96	243,5	20,60	1,06	0,251	0,011	1,57	15,87
Bizzarro	2019	IV	foglie	96,7	0,056	25,95	16,45	0,007	0,132	0,050	0,291	14,83	72,0	15,92	0,80	0,250	0,014	0,25	53,87
Bizzarro	2019	IV	radici	148,7	0,073	11,75	19,85	0,010	0,099	0,054	0,393	19,98	120,3	32,74	1,18	0,214	0,024	1,12	37,66
Lamiola	2019	IV	foglie	312,0	0,120	41,40	10,22	0,023	0,164	0,094	0,574	12,58	204,1	31,57	1,07	0,408	0,017	0,68	46,03
Lamiola	2019	IV	radici	376,6	0,176	11,27	8,73	0,031	0,089	0,118	0,603	16,66	234,7	27,13	1,41	0,398	0,036	2,68	26,28
Favullo	2019	IV	foglie	309,7	0,250	27,25	9,89	0,022	0,214	0,107	0,526	10,80	214,8	50,02	1,03	0,428	0,016	0,69	64,42
Favullo	2019	IV	radici	306,9	0,173	12,08	5,71	0,026	0,098	0,107	0,646	12,62	219,2	30,03	1,46	0,424	0,016	1,46	28,45
Lavello	2019	IV	foglie	98,5	0,282	46,66	11,88	0,009	0,409	0,090	0,269	17,59	76,8	32,33	0,75	0,421	0,009	0,42	105,41
Lavello	2019	IV	radici	106,7	0,123	9,46	6,79	0,008	0,156	0,059	0,382	15,46	96,7	21,82	1,18	0,347	0,008	0,61	30,92
Bizzarro	2020	I	foglie	204,9	0,136	20,24	22,44	0,020	0,273	0,094	0,418	13,18	176,7	32,65	1,01	0,448	0,029	0,56	46,56
Bizzarro	2020	I	radici	268,2	0,115	9,56	19,39	0,019	0,173	0,075	0,521	17,82	172,2	21,26	1,05	0,426	0,045	1,78	29,21
Lamiola	2020	I	foglie	238,9	0,257	20,09	19,44	0,019	0,291	0,091	0,820	10,03	169,0	34,97	1,31	0,493	0,016	0,48	57,64
Lamiola	2020	I	radici	668,5	0,377	9,30	14,22	0,052	0,092	0,166	1,078	9,69	411,0	19,72	1,72	0,623	0,038	2,15	30,58
Lavello	2020	I	foglie	187,6	0,254	18,88	11,32	0,012	1,098	0,128	0,337	22,26	146,7	116,30	2,24	0,446	0,006	0,45	96,83
Lavello	2020	I	radici	297,1	0,233	7,48	8,59	0,019	0,283	0,117	0,608	13,15	187,8	23,93	1,23	0,802	0,012	2,60	23,64
Favullo	2020	I	foglie	197,8	0,785	20,39	7,22	0,013	0,258	0,077	0,368	10,48	158,5	42,95	0,77	0,322	0,026	0,52	61,16
Favullo	2020	I	radici	175,1	0,256	8,65	4,09	0,018	0,112	0,062	0,346	10,08	114,0	21,94	0,60	0,356	0,027	0,97	22,15
Lavello	2020	II	foglie	619,2	0,848	12,35	7,58	0,033	0,159	0,175	1,461	19,33	532,4	77,17	3,05	0,727	0,012	1,81	75,94
Lavello	2020	II	radici	252,3	0,209	6,70	4,59	0,011	0,113	0,065	1,014	14,77	216,1	31,09	1,61	0,294	0,005	1,40	37,12
Favullo	2020	II	foglie	213,9	0,480	16,98	3,82	0,014	0,119	0,045	0,529	11,20	169,8	51,84	1,20	0,262	0,013	0,53	36,84
Favullo	2020	II	radici	225,6	0,213	8,89	2,94	0,014	0,079	0,061	0,524	13,20	160,5	34,88	1,12	0,198	0,015	0,99	27,75

Stabilimento	2020	II	foglie	448,1	0,192	25,42	32,30	0,027	0,143	0,126	0,950	14,38	313,9	93,10	2,36	0,561	0,017	1,07	42,15
Stabilimento	2020	II	radici	622,9	0,241	12,20	10,64	0,035	0,128	0,195	1,579	20,43	476,1	45,05	3,06	0,373	0,013	2,18	29,20
Lamiola	2020	III	foglie	1021,4	0,303	16,55	5,89	0,067	0,143	0,189	1,201	15,61	626,7	42,36	3,24	0,462	0,038	1,91	43,23
Lamiola	2020	III	radici	383,0	0,219	14,63	5,39	0,022	0,293	0,143	1,255	34,29	365,8	22,06	2,84	0,306	0,042	1,66	43,24
Favullo	2020	III	foglie	358,2	0,334	17,25	3,09	0,020	0,208	0,105	0,609	16,07	264,7	28,12	2,38	0,241	0,018	0,84	49,18
Favullo	2020	III	radici	441,2	0,384	16,63	5,04	0,021	0,361	0,185	1,698	36,52	434,4	27,09	3,20	0,354	0,047	1,99	51,62
Lavello	2020	III	foglie	224,7	0,116	12,83	2,28	0,010	0,159	0,091	0,397	16,67	202,6	32,35	2,26	0,199	0,006	0,47	55,84
Lavello	2020	III	radici	451,9	0,232	13,31	5,75	0,020	0,243	0,144	2,291	38,26	513,4	29,06	2,94	0,425	0,017	1,73	51,05
Stabilimento	2020	III	foglie	n.d.	0,581	16,31	9,16	0,121	0,112	0,283	2,600	14,34	n.d.	49,95	4,58	0,834	0,050	3,57	48,49
Stabilimento	2020	III	radici	784,2	0,380	19,48	10,78	0,049	0,277	0,248	2,350	29,50	641,0	30,01	3,47	0,581	0,038	3,63	52,27
Bizzarro	2020	IV	foglie	n.d.	0,399	17,82	9,43	0,088	0,064	0,278	2,120	22,69	n.d.	57,71	7,03	0,959	0,025	3,89	73,88
Bizzarro	2020	IV	radici	737,9	0,699	15,01	18,19	0,037	0,085	0,238	1,439	22,86	680,7	64,56	3,48	0,447	0,025	3,92	43,51
Lamiola	2020	IV	foglie	927,7	0,220	12,46	4,30	0,053	0,149	0,169	1,158	29,17	551,5	32,54	8,36	0,358	0,021	1,88	62,82
Lamiola	2020	IV	radici	501,1	0,219	12,25	3,46	0,025	0,117	0,101	0,805	23,32	390,3	27,88	6,43	0,201	0,013	2,17	37,29
Lavello	2020	IV	foglie	374,1	0,399	17,43	5,98	0,014	0,386	0,080	0,627	18,44	253,3	85,97	1,80	0,369	0,006	0,72	115,99
Lavello	2020	IV	radici	667,9	0,453	13,66	6,43	0,023	0,165	0,128	0,855	15,84	373,8	34,86	1,60	0,568	0,010	3,55	59,75
Favullo	2020	IV	foglie	n.d.	0,605	20,73	4,78	0,084	0,083	0,269	1,504	15,28	n.d.	80,75	3,78	0,906	0,020	3,21	109,52
Favullo	2020	IV	radici	316,0	0,308	7,15	1,61	0,010	0,041	0,060	0,489	10,98	185,0	32,80	1,27	0,133	0,010	3,00	43,23

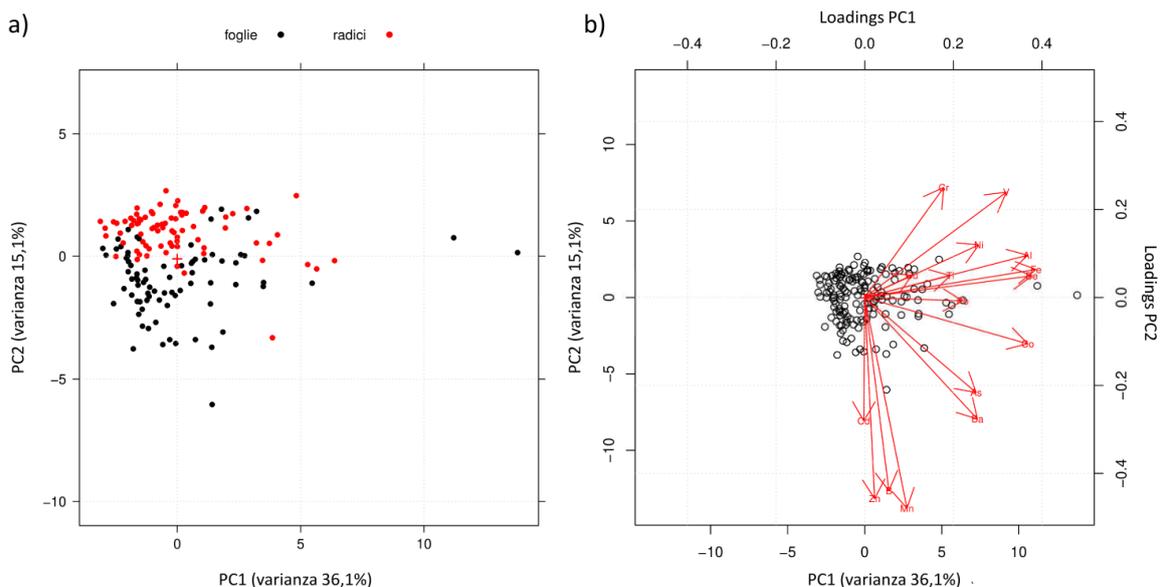
**Tabella 32.** Dati relativi ai metalli, al boro e all'arsenico nei 78 campioni di *Taraxacum officinale* (in foglie e radici) prelevati nei siti di monitoraggio di Rendina (Stabilimento), Bizzarro, Favullo, Lamiola e Lavello nel periodo 2015-2020. In rosso sono evidenziati i valori inferiori ai limiti di quantificazione, trattati secondo il criterio medium-bound.

Ai fini dell'elaborazione statistica qui presentata sono stati presi in considerazione i dati relativi al solo quinquennio 2016-2020 (78 campioni), escludendo quindi quelli riferiti all'anno 2015, per i medesimi motivi indicati nel capitolo precedente riguardante la matrice licheni.

### Risultati e discussione

L'analisi delle componenti principali condotta sull'insieme dei dati ha mostrato (figura 25) che esiste una differenza in termini di distribuzione degli analiti tra le due matrici, foglie e radici, come di fatto ci si aspettava. In particolare, si può notare (figura 25a) che, in relazione alla componente principale PC2, le foglie e le radici si dispongono lungo un asse che vede le prime caratterizzarsi per valori inferiori alle seconde, tali da configurare due gruppi in buona misura distinti. Tale differenza, come risulta dalla figura 25b e dalla tabella 33, deriva dal fatto che la maggior parte delle specie metalliche analizzate presenta una concentrazione più elevata nelle foglie (in particolare manganese, arsenico, zinco, boro e cadmio), mentre esiste un numero ridotto di elementi chimici (in ordine di importanza vanadio, cromo, rame, tallio e nichel) che risultano maggiormente concentrati nelle radici.

Avendo a che fare con due matrici differenti all'interno dei campioni, si è preferito elaborare separatamente i dati e trattare le foglie e le radici come due insiemi distinti di campioni.



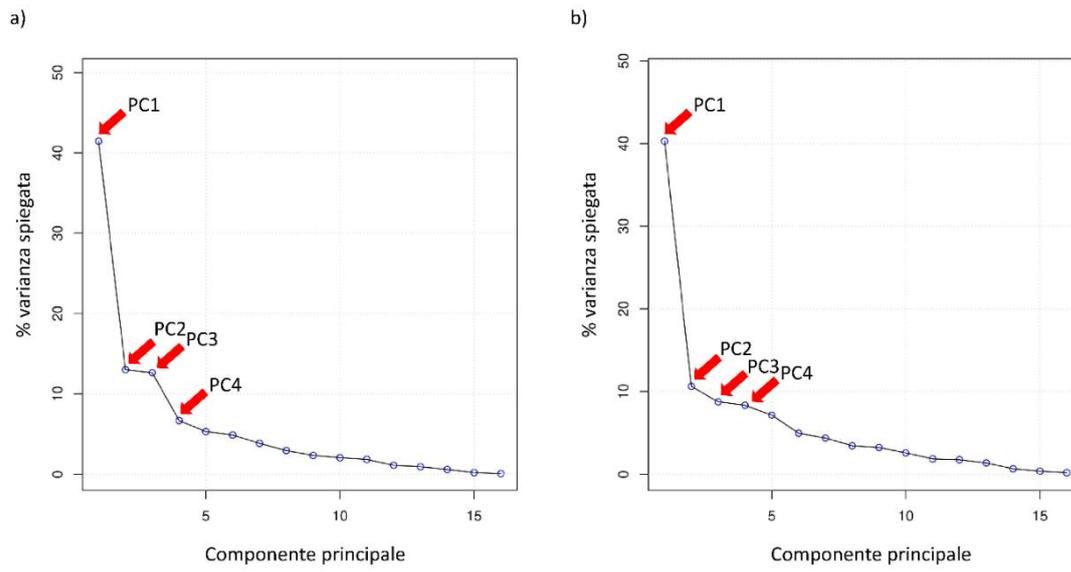
**Figura 25** a) Rappresentazione grafica dei dati nel piano individuato dalle componenti principali PC1 e PC2 (score-plot). L'origine degli assi rappresenta il vettore delle medie dei dati. I due differenti colori (rosso e nero) indicano rispettivamente le due matrici *radici* e *foglie* che costituiscono ognuno dei campioni prelevati e che sono state analizzate separatamente. b) Rappresentazione grafica simultanea dei dati e delle variabili analitiche nel piano delle componenti principali PC1 e PC2 (bi-plot). I loadings sono i

coefficienti numerici normalizzati che descrivono il contributo delle variabili originali alla determinazione delle componenti principali.

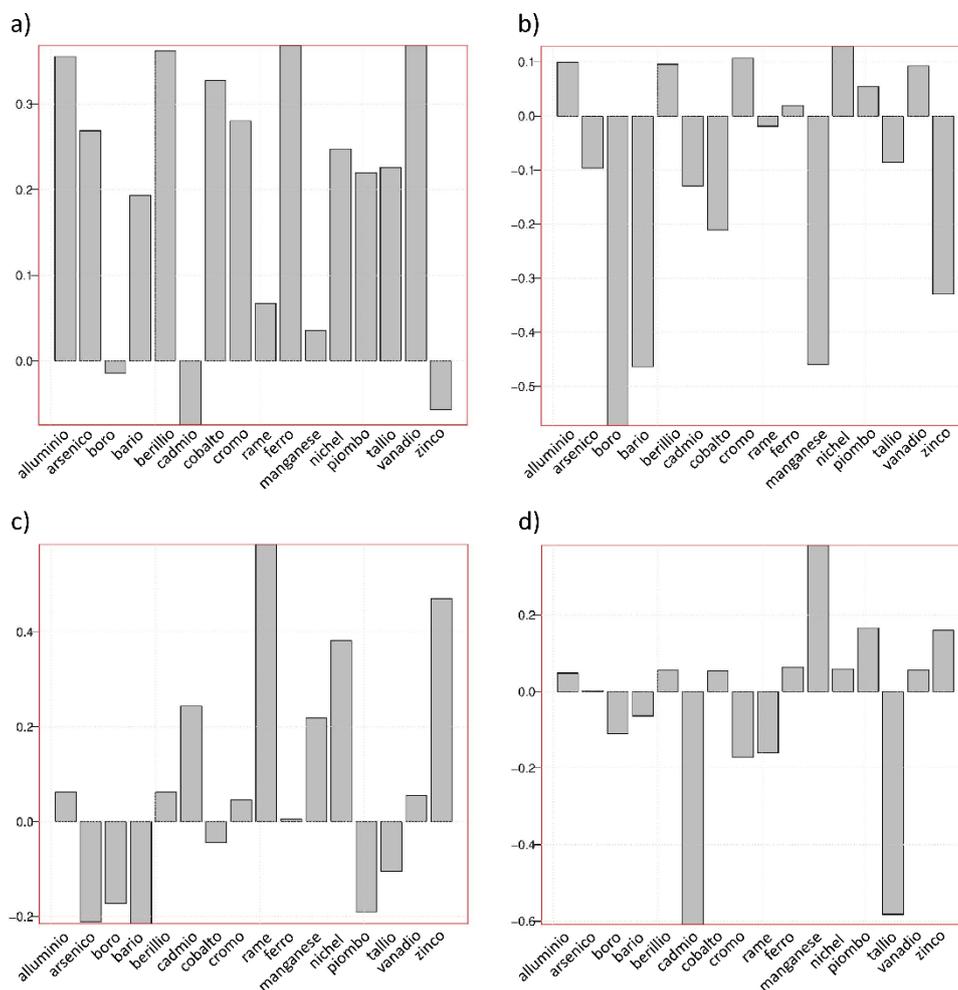
	Foglie	Radici	diff%
<b>Alluminio</b>	351	337	+4,3
<b>Arsenico</b>	0,530	0,291	+81,9
<b>Boro</b>	38,15	25,47	+49,8
<b>Bario</b>	27,61	24,37	+13,3
<b>Berillio</b>	0,031	0,027	+14,8
<b>Cadmio</b>	0,195	0,136	+43,6
<b>Cobalto</b>	0,298	0,260	+14,3
<b>Cromo</b>	1,057	1,698	-37,7
<b>Rame</b>	15,35	18,35	-16,4
<b>Ferro</b>	313	303	+3,5
<b>Manganese</b>	65,58	33,21	+97,5
<b>Nichel</b>	2,253	2,447	-7,9
<b>Piombo</b>	0,711	0,641	+10,9
<b>Tallio</b>	0,028	0,030	-8,2
<b>Vanadio</b>	1,288	2,434	-47,1
<b>Zinco</b>	66,44	38,09	+74,4

**Tabella 33** Valori medi degli analiti (in mg/kg) nelle *foglie* e nelle *radici* di *Taraxacum officinale* e variazione percentuale (diff%) nelle foglie rispetto alle radici.

L'analisi delle componenti principali condotta in parallelo sui dati delle *foglie* e delle *radici* ha dato due distribuzioni della varianza (figura 26) sostanzialmente analoghe per quanto riguarda lo scarto esistente tra la componente principale PC1, responsabile in ambedue i casi di oltre il 40% della varianza osservata, e le componenti successive. Nel caso delle *foglie* (figura 26a) esiste un ulteriore scarto tra le componenti PC2 e PC3 da una parte e le componenti successive dall'altra, mentre nelle *radici* (figura 26b) l'andamento della varianza è più graduale e la differenza tra le stesse componenti più contenuta.



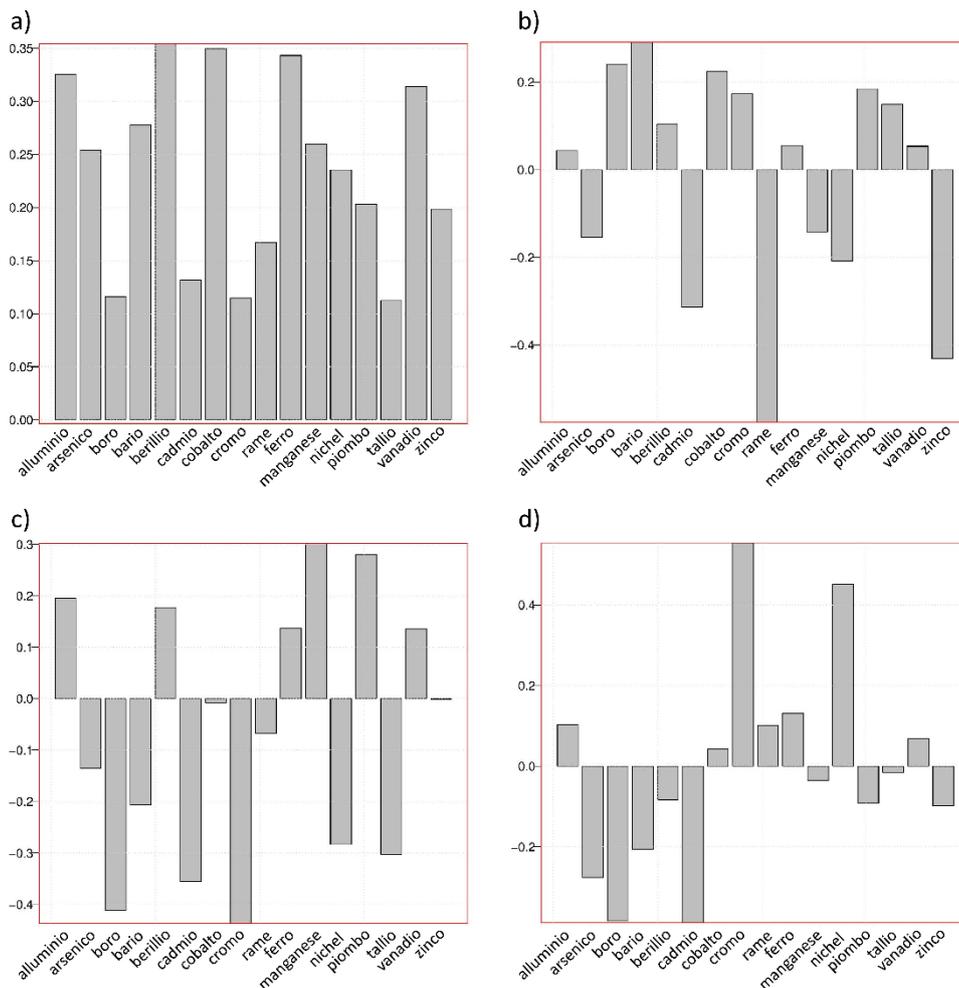
**Figura 26** Distribuzione della varianza fra le componenti principali relativa a: a) foglie; b) radici. Sono evidenziate in entrambi i casi le prime quattro componenti principali.



**Figura 27** Loadings delle componenti principali dei dati delle *foglie*: a) PC1; b) PC2; c) PC3; d) PC4. I loadings, rappresentati sull'asse verticale dei grafici, sono i coefficienti numerici normalizzati (cioè con somma quadratica pari a 1 e valori compresi tra 1 e -1) che descrivono il contributo delle variabili originali alla determinazione delle componenti principali.

La struttura delle prime quattro componenti principali dei dati delle *foglie* è mostrata in figura 27. Si può vedere che nella componente PC1 sono sottorappresentate le variabili manganese, zinco, cadmio e boro che sono quelle -come si è detto- maggiormente concentrate nelle foglie rispetto alle radici. La componente PC2 invece descrive principalmente proprio queste variabili e risulta quindi in una certa misura complementare alla componente PC1. La componente PC3 descrive soprattutto la distribuzione del rame, poco rappresentato dalle due componenti precedenti, e quelle dello zinco e del nichel. Infine, la componente PC4 riceve i contributi fondamentali dal cadmio, poco rappresentato dalle componenti precedenti, e dal tallio.

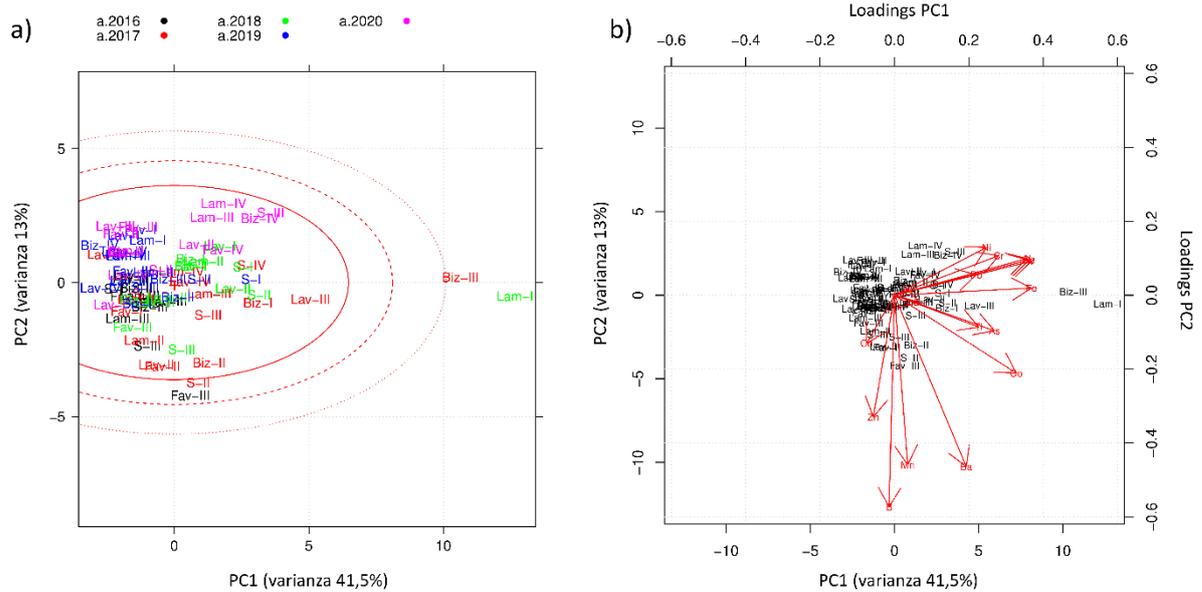
Per quanto riguarda le *radici*, la componente PC1 descrive soprattutto le variabili alluminio, berillio, cobalto, ferro, vanadio, arsenico, bario e manganese; meno rappresentate sono invece le variabili boro, cadmio, cromo, tallio e rame. Quest'ultimo è descritto dalla componente PC2, mentre boro, cadmio, cromo e tallio sono descritti dalla componente PC3. Infine, la componente PC4 riceve i contributi principali da cromo e tallio.



**Figura 28** Loadings delle componenti principali dei dati delle *radici*: a) PC1; b) PC2; c) PC3; d) PC4. I loadings, rappresentati sull'asse verticale dei grafici, sono i coefficienti numerici normalizzati (cioè con somma quadratica pari a 1 e valori compresi tra 1 e -1) che descrivono il contributo delle variabili originali alla determinazione delle componenti principali.

La rappresentazione dei dati delle *foglie* nel piano delle componenti principali PC1 e PC2 (figura 29), con il relativo ingrandimento in figura 30, lascia intravedere alcuni raggruppamenti di dati accomunati dalla variabile tempo (stesso anno e trimestre di campionamento o trimestri vicini); nell'insieme però la dispersione di dati riferiti agli stessi periodi e le sovrapposizioni tra dati riferiti

a periodi diversi prevalgono sui fattori di ordinamento temporale. Accanto a periodi in cui si osserva una bassa dispersione dei dati, ve ne sono altri in cui i dati raccolti nei diversi siti si differenziano significativamente. Non emerge d'altra parte un criterio nella distribuzione dei dati neppure sulla base dei siti di monitoraggio.



**Figura 29** a) Rappresentazione grafica dei dati delle *foglie* nel piano individuato dalle componenti principali PC1 e PC2 (score-plot). L'origine degli assi rappresenta il vettore delle medie dei dati. I dati sono caratterizzati da una sigla in cui la parte letterale indica la stazione di monitoraggio (S=stabilimento di Rendina; Biz=Bizzarro; Fav=Favullo; Lam=Lamiola; Lav=Lavello) e il numerale romano il trimestre dell'anno solare (I, II, III, IV) in cui è stato effettuato il campionamento, mentre il colore indica l'anno solare, come illustrato dalla didascalia interna. Le ellissi presenti nel grafico e marcate con linee rosse piene e tratteggiate delimitano, dall'interno verso l'esterno, le aree corrispondenti ai livelli di confidenza del 95%, 99% e 99,9% nella distribuzione  $T^2$  della varianza. b) Rappresentazione grafica simultanea dei dati e delle variabili analitiche nel piano delle componenti principali PC1 e PC2 (bi-plot). I loadings sono i coefficienti numerici normalizzati che descrivono il contributo delle variabili originali alla determinazione delle componenti principali.

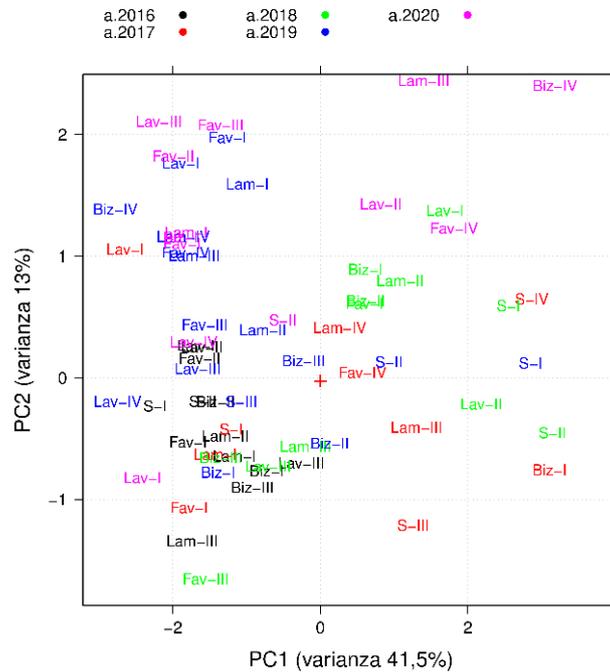


Figura 30 Dettaglio della figura 29a.

Lo stesso quadro si ripropone sostanzialmente nella rappresentazione relativa alle componenti PC2 e PC3 (figura 31).

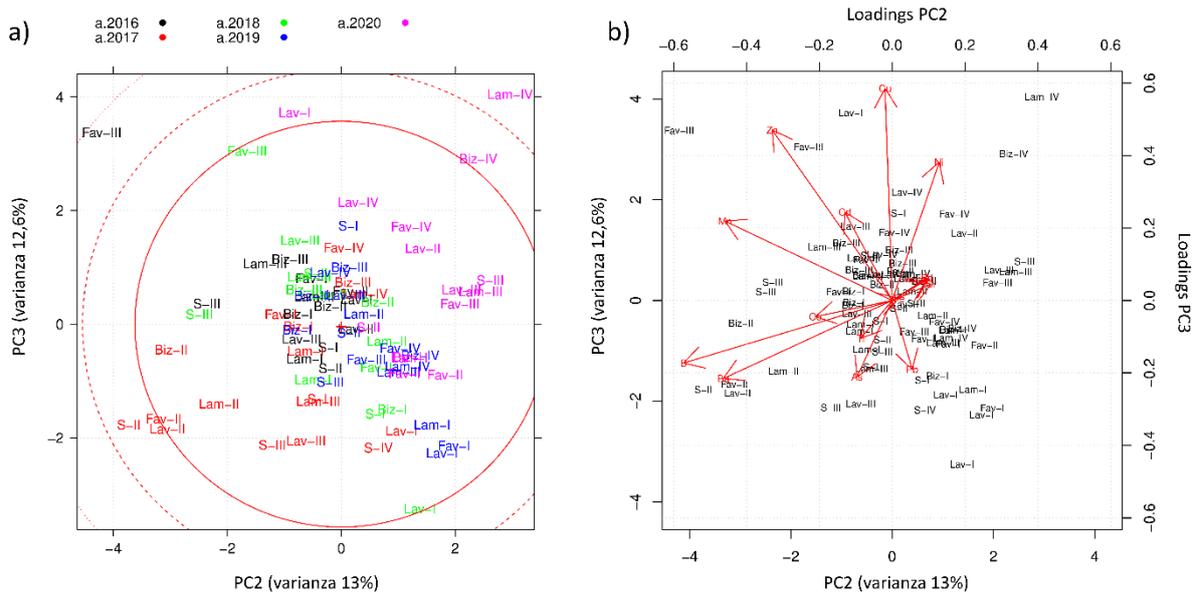
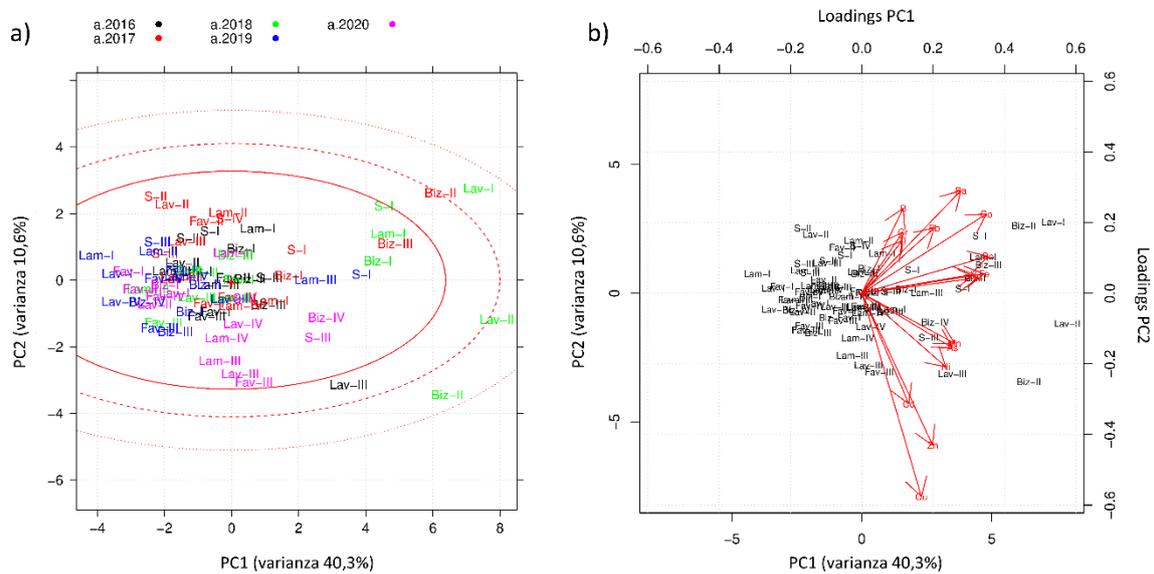


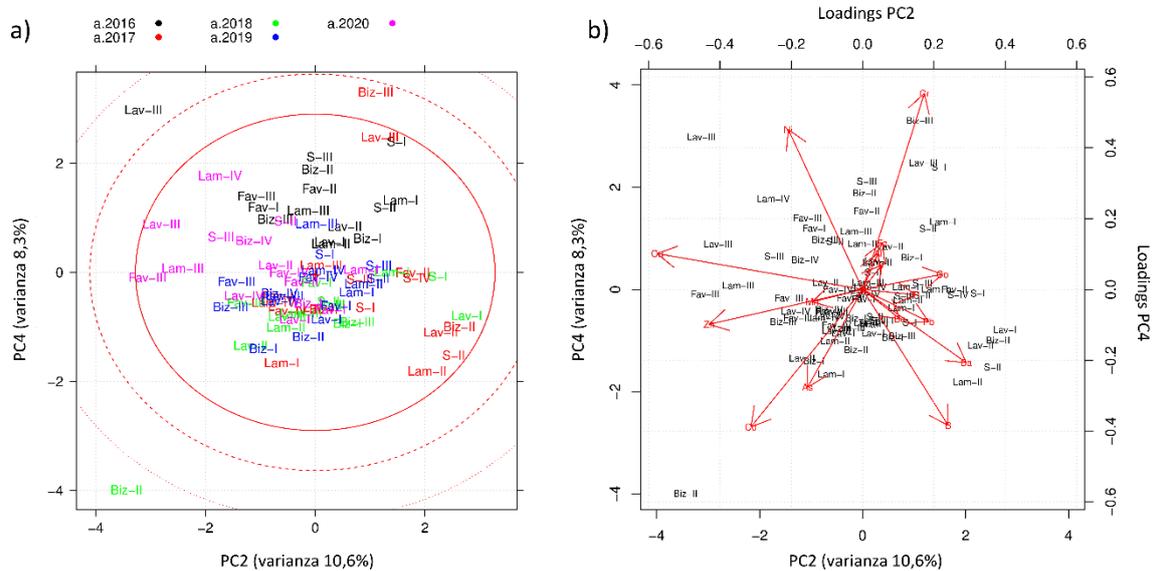
Figura 31 a) Rappresentazione grafica dei dati delle *foglie* nel piano individuato dalle componenti principali PC2 e PC3 (score-plot). L'origine degli assi rappresenta il vettore delle medie dei dati. I dati sono caratterizzati da una sigla in cui la parte letterale indica la stazione di monitoraggio (S=stabilimento di Rendina; Biz=Bizzarro; Fav=Favullo; Lam=Lamiola; Lav=Lavello) e il numerale romano il trimestre dell'anno solare (I, II, III, IV) in cui è stato effettuato il campionamento, mentre il colore indica l'anno solare, come illustrato dalla didascalia interna. Le ellissi presenti nel grafico e marcate con linee rosse piene e tratteggiate delimitano,

dall'interno verso l'esterno, le aree corrispondenti ai livelli di confidenza del 95%, 99% e 99,9% nella distribuzione  $T^2$  della varianza. b) Rappresentazione grafica simultanea dei dati e delle variabili analitiche nel piano delle componenti principali PC2 e PC3 (bi-plot). I loadings sono i coefficienti numerici normalizzati che descrivono il contributo delle variabili originali alla determinazione delle componenti principali.

Per quanto riguarda inoltre i dati delle *radici*, di cui si riportano di seguito le rappresentazioni nei piani delle componenti PC1/PC2 (figura 32) e PC2/PC4 (figura 33), si possono applicare le stesse considerazioni fatte a proposito delle foglie.

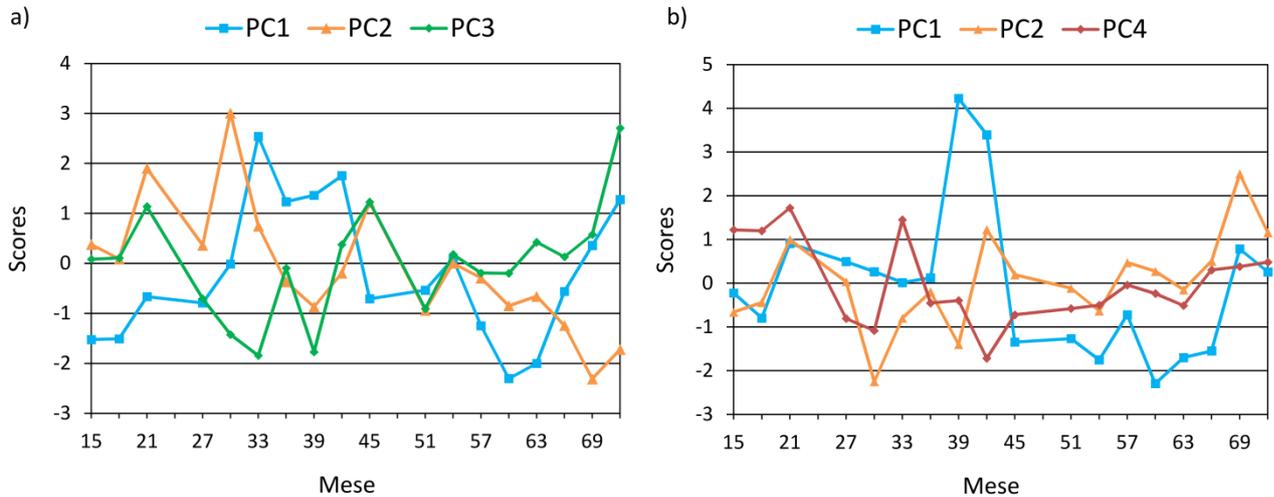


**Figura 32** a) Rappresentazione grafica dei dati delle radici nel piano individuato dalle componenti principali PC1 e PC2 (score-plot). L'origine degli assi rappresenta il vettore delle medie dei dati. I dati sono caratterizzati da una sigla in cui la parte letterale indica la stazione di monitoraggio (S=stabilimento di Rendina; Biz=Bizzarro; Fav=Favullo; Lam=Lamiola; Lav=Lavello) e il numerale romano il trimestre dell'anno solare (I, II, III, IV) in cui è stato effettuato il campionamento, mentre il colore indica l'anno solare, come illustrato dalla didascalia interna. Le ellissi presenti nel grafico e marcate con linee rosse piene e tratteggiate delimitano, dall'interno verso l'esterno, le aree corrispondenti ai livelli di confidenza del 95%, 99% e 99,9% nella distribuzione  $T^2$  della varianza. b) Rappresentazione grafica simultanea dei dati e delle variabili analitiche nel piano delle componenti principali PC1 e PC2 (bi-plot). I loadings sono i coefficienti numerici normalizzati che descrivono il contributo delle variabili originali alla determinazione delle componenti principali.



**Figura 33** a) Rappresentazione grafica dei dati delle *radici* nel piano individuato dalle componenti principali PC2 e PC4 (score-plot). L'origine degli assi rappresenta il vettore delle medie dei dati. I dati sono caratterizzati da una sigla in cui la parte letterale indica la stazione di monitoraggio (S=stabilimento di Rendina; Biz=Bizzarro; Fav=Favullo; Lam=Lamiola; Lav=Lavello) e il numerale romano il trimestre dell'anno solare (I, II, III, IV) in cui è stato effettuato il campionamento, mentre il colore indica l'anno solare, come illustrato dalla didascalia interna. Le ellissi presenti nel grafico e marcate con linee rosse piene e tratteggiate delimitano, dall'interno verso l'esterno, le aree corrispondenti ai livelli di confidenza del 95%, 99% e 99,9% nella distribuzione  $T^2$  della varianza. b) Rappresentazione grafica simultanea dei dati e delle variabili analitiche nel piano delle componenti principali PC2 e PC4 (bi-plot). I loadings sono i coefficienti numerici normalizzati che descrivono il contributo delle variabili originali alla determinazione delle componenti principali.

Al fine di osservare più chiaramente l'andamento temporale delle componenti principali dei due insiemi di dati, sono stati riportati in funzione del mese progressivo di campionamento i valori, mediati tra i cinque siti di monitoraggio, delle componenti principali più significative per i dati delle *foglie* (figura 34a) e delle *radici* (figura 34b).



**Figura 34** a) Rappresentazione delle medie, calcolate per ciascun mese di campionamento, dei valori (scores) delle componenti principali PC1, PC2 e PC3 dei dati delle *foglie*. b) Rappresentazione delle medie, calcolate per ciascun mese di campionamento, dei valori (scores) delle componenti principali PC1, PC2 e PC4 dei dati delle *radici*. La numerazione progressiva dei mesi si intende a partire dall'1 gennaio 2015. Gli scores della componente PC2 delle foglie e delle radici sono stati cambiati di segno. Per le foglie, sono stati esclusi dal calcolo delle medie i dati anomali Biz-III dell'anno 2017 (mese 33) e Lam-I dell'anno 2018 (mese 39).

Ciò che emerge in entrambi i casi è un intervallo di valori più elevati della componente PC1 compreso tra i mesi 33 e 42 nel caso delle *foglie* e tra i mesi 39 e 42 nel caso delle *radici*. Nel primo caso l'aumento (dal mese 30 al mese 42) è dovuto principalmente alle variabili berillio (+235%), vanadio (+154%), piombo (+101%), alluminio (+91%), cromo (+87%) e nichel (+70%), nel secondo caso (dal mese 36 al mese 42) soprattutto alle variabili cadmio (414%), piombo (152%), berillio (144%), boro (142%), zinco (123%) e nichel (81%). Si segnala poi, in misura particolarmente accentuata nelle foglie, un aumento dei valori della stessa componente PC1 nel corso dell'anno 2020 (mesi 63-72). In questo caso, principali responsabili dell'aumento (dal mese 60 al mese 72) sono le variabili nichel (475%), vanadio (376%), berillio (294%), alluminio (227%), cromo (226%) e ferro (206%). I valori iniziali e finali su cui si basano gli aumenti descritti sono riportati in tabella 34.

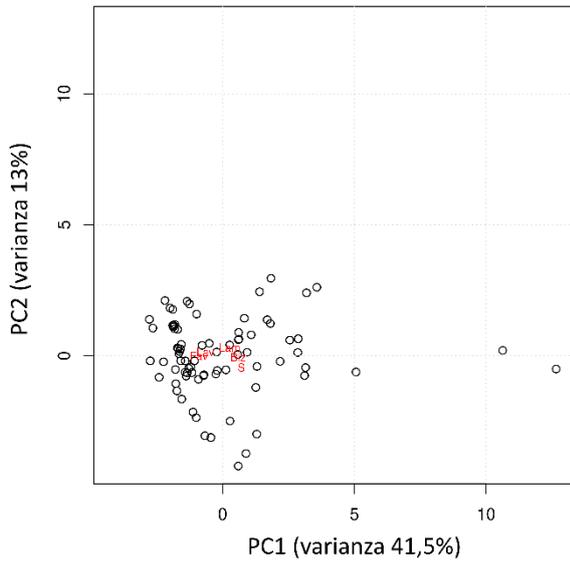
	Foglie						Radici					
	mese 30	mese 42	diff%	mese 60	mese 72	diff%	mese 36	mese 42	diff%	mese 60	mese 72	diff%
<b>Alluminio</b>	236	452	+91	204	667	+227	330	530	+61	235	556	+137
<b>Arsenico</b>	0,698	0,839	+20	0,177	0,406	+130	0,537	0,897	+67	0,136	0,420	+208
<b>Boro</b>	100	37	-63	35	17	-52	19	46	+142	11	12	+8
<b>Bario</b>	52,157	32,088	-38	12,109	6,123	-49	30,112	45,455	+51	10,270	7,424	-28
<b>Berillio</b>	0,018	0,059	+235	0,015	0,060	+294	0,026	0,064	+144	0,019	0,024	+28

<b>Cadmio</b>	0,229	0,253	+11	0,230	0,171	-26	0,066	0,339	+414	0,110	0,102	-8
<b>Cobalto</b>	0,361	0,522	+44	0,085	0,199	+133	0,285	0,515	+81	0,085	0,132	+56
<b>Cromo</b>	0,625	1,168	+87	0,415	1,352	+226	0,812	1,299	+60	0,506	0,897	+77
<b>Rame</b>	13,24	19,44	+47	13,95	21,39	+53	18,37	26,73	+46	16,18	18,25	+13
<b>Ferro</b>	265	361	+36	142	434	+206	308	404	+31	168	407	+143
<b>Manganese</b>	78,5	50,2	-36	32,5	64,2	+98	35,2	51,6	+46	27,9	40,0	+43
<b>Nichel</b>	1,886	3,212	+70	0,912	5,243	+475	2,016	3,644	+81	1,309	3,194	+144
<b>Piombo</b>	0,578	1,160	+101	0,377	0,648	+72	0,464	1,167	+152	0,346	0,337	-2
<b>Tallio</b>	0,054	0,026	-52	0,014	0,018	+30	0,033	0,022	-34	0,021	0,014	-32
<b>Vanadio</b>	0,956	2,427	+154	0,510	2,426	+376	2,527	4,413	+75	1,469	3,159	+115
<b>Zinco</b>	63	57	-9	67	91	+34	32	71	+123	31	46	+49

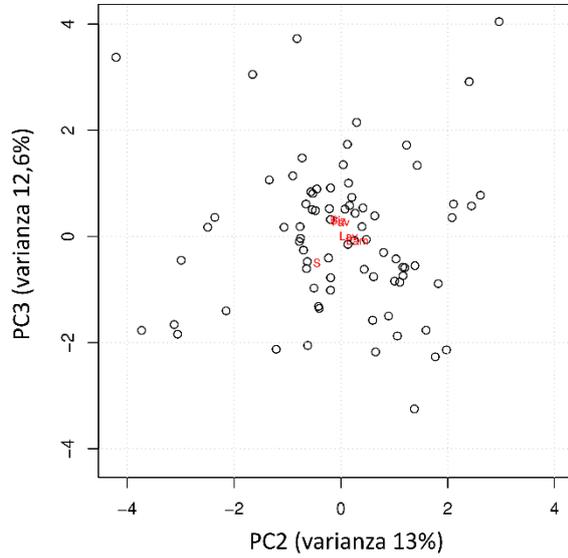
**Tabella 34** Valori medi degli analiti (in mg/kg) nelle foglie e nelle radici relativi ai mesi indicati e differenze percentuali (diff%) tra valori relativi al mese 30 e al mese 42 e tra mese 60 e mese 72 per le *foglie*, tra mese 36 e mese 42 e mese 60 e mese 72 per le *radici*.

La valutazione delle differenze tra i siti di monitoraggio in termini di distribuzione degli analiti è stata condotta proiettando nel piano delle componenti principali i vettori delle medie degli analiti calcolate per ciascun sito di monitoraggio. Nel caso delle *foglie* (figura 35), si può osservare una lieve differenza nella componente PC1 tra i siti di Favullo (-0,90) e Lavello (-0,65) da una parte e quelli di Bizzarro (0,59) e Rendina (0,71) dall'altro, con Lamiola (0,26) nel mezzo (figura 35a). Per quanto riguarda le componenti PC2 e PC3, il sito di Rendina (PC2 -0,45 e PC3 -0,50) presenta uno scostamento dalla media maggiore degli altri siti (figura 35b). Nel caso delle *radici*, si osserva la variazione della componente PC1 vede di nuovo su estremi opposti i siti di Bizzarro (1,35) e Favullo (-1,14), mentre Lamiola (-0,30), Lavello (0,02) e Rendina (0,11) si scostano poco dalla media. Per quanto riguarda la componente PC2, lo scostamento maggiore dalla media riguarda il sito di Rendina (0,80).

a)

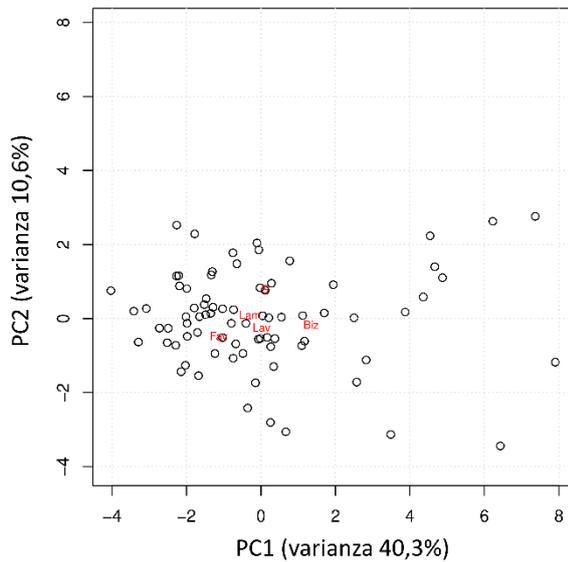


b)

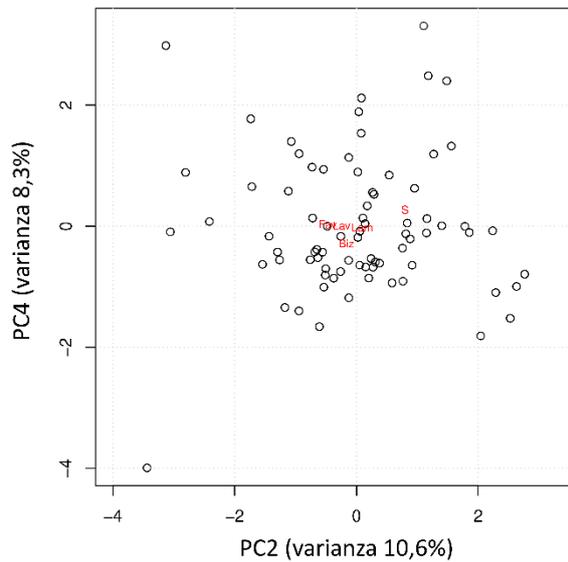


**Figura 35** Proiezione delle medie degli analiti nei campioni di *foglie* divisi per sito di monitoraggio nel piano delle componenti: a) PC1 e PC2; b) PC2 e PC3. Per il significato delle sigle dei siti si rinvia alla legenda di figura 29.

a)



b)



**Figura 36** Proiezione delle medie degli analiti nei campioni di *radici* divisi per sito di monitoraggio nel piano delle componenti: a) PC1 e PC2; b) PC2 e PC4. Per il significato delle sigle dei siti si rinvia alla legenda di figura 29.

Al fine di comprendere l'entità degli scostamenti nei termini delle variabili analitiche, le variazioni percentuali delle medie calcolate con riferimento ai cinque siti di monitoraggio rispetto

alle medie calcolate sugli insiemi dei dati delle foglie e delle radici sono state riportate in tabella 35.

	Bizzarro		Favullo		Lamiola		Lavello		Rendina	
	<i>foglie</i>	<i>radici</i>								
<b>Alluminio</b>	+24	+20	-32	-34	+18	+4	-20	-9	+8	+20
<b>Arsenico</b>	-15	+29	+5	-6	-5	-3	+5	+2	+11	-21
<b>Boro</b>	+2	+16	-5	-6	-3	-5	-6	-2	+13	-2
<b>Bario</b>	+26	+47	-35	-37	+6	0	-23	-14	+27	+5
<b>Berillio</b>	+16	+18	-32	-42	+22	+11	-30	-12	+24	+24
<b>Cadmio</b>	+27	+61	-36	-31	+2	-1	+27	-3	-22	-25
<b>Cobalto</b>	+12	+23	-29	-31	+6	-10	-16	+2	+27	+17
<b>Cromo</b>	+10	+15	-25	-18	+3	-7	-21	-2	+34	+13
<b>Rame</b>	+17	+13	0	+7	-1	-4	-3	+6	-12	-22
<b>Ferro</b>	+12	+18	-26	-28	+14	+4	-13	-7	+11	+13
<b>Manganese</b>	-18	+19	+25	+14	-35	-30	+5	+3	+28	-3
<b>Nichel</b>	+21	+29	-12	-12	+7	-4	-12	+1	-5	-13
<b>Piombo</b>	-3	+1	-44	-49	-19	-40	+47	+114	+19	-28
<b>Tallio</b>	+58	+78	-35	-25	+20	+10	-52	-49	+9	-12
<b>Vanadio</b>	+16	+11	-23	-25	+2	-12	-22	+11	+28	+16
<b>Zinco</b>	-5	+7	+18	-1	0	0	-1	+9	-11	-15

**Tabella 35** Variazione percentuale delle medie degli analiti relative ai cinque siti di monitoraggio rispetto alle medie relative agli insiemi di dati delle foglie e delle radici. Le medie rispetto a cui sono state calcolate le variazioni sono riportate in tabella 33.

## Conclusioni

L'analisi multivariata dei dati del monitoraggio dei metalli condotto nel periodo 2016-2020 su campioni di *Taraxacum officinale* prelevati in cinque siti situati in prossimità o nei dintorni dell'impianto termovalorizzatore di Melfi (PZ) ha evidenziato che le due matrici *foglie* e *radici* di cui sono costituiti i campioni presentano, in modo riconoscibile rispetto agli altri fattori di variabilità dei dati, una differente distribuzione degli analiti. I dati relativi a queste due matrici sono stati quindi elaborati in modo separato e discussi parallelamente. Dal punto di vista dell'evoluzione temporale dei dati medi dei cinque siti di monitoraggio, l'analisi dei dati ha rilevato in ambedue le matrici una zona di valori più elevati tra la seconda metà dell'anno 2017 e la prima metà dell'anno successivo e un tendenziale aumento nell'anno 2020. Dal punto di vista delle differenze tra i siti, si è evidenziato che, pur essendo tali differenze non significative se confrontate con la varianza dell'insieme dei dati, i siti di Rendina e di Bizzarro presentano valori più elevati con riferimento alla maggior parte degli analiti monitorati.

### 4.3 Monitoraggio degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e dei metalli pesanti in *Apis mellifera*



Figura 37. Campione di api dopo la liofilizzazione

Il capitolo 4.3 ha per oggetto un'elaborazione statistica, condotta mediante la tecnica dell'analisi delle componenti principali, dei dati riguardanti le analisi di idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e metalli in campioni di api (*Apis mellifera*) condotta nel quadro del programma di biomonitoraggio degli impatti ambientali dell'impianto di termovalorizzazione di Melfi (PZ).

Un totale di 75 campioni di *Apis mellifera* sono stati prelevati con cadenza trimestrale nel periodo 2015-2020 da alveari situati in corrispondenza dei cinque siti di monitoraggio di Rendina, Bizzarro, Favullo, Lamiola e Lavello.

Gli IPA (naftalene, acenaftene, fluorene, fenantrene, antracene, fluorantene, pirene, benzo[a]antracene, crisene, benzo[k]fluorantene, benzo[a]pirene, dibenzo[a,h]antracene, benzo[g,h,i]perilene e indeno[1,2,3-cd]pirene) e i metalli (alluminio, bario, cadmio, cobalto, cromo, rame, ferro, manganese, nichel, piombo, vanadio e zinco, con l'aggiunta degli elementi non metallici boro e arsenico) sottoposti a monitoraggio sono specie chimiche presenti nel particolato atmosferico, riconducibili a processi di combustione (di origine antropica o naturale) e, nel caso dei metalli, anche di erosione meccanica.

L'elaborazione statistica è stata utile in questo caso anche per valutare l'eventuale presenza di correlazioni tra i diversi analiti, in particolare tra le due classi principali IPA e metalli.

### **Trattamento dei dati**

I dati relativi ai 75 campioni analizzati sono riportati rispettivamente in tabella 36 per gli IPA e in tabella 37 per i metalli, arsenico e boro. In entrambi i casi i valori inferiori ai limiti di quantificazione (LOQ) sono evidenziati in rosso e sono stati trattati secondo il criterio “medium-bound”, cioè posti uguali alla metà dei rispettivi LOQ.

Sito	Anno	Trimestre	Naftalene	Acenaftene	Fluorene	Fenantrene	Antracene	Fluorantene	Pirene	Benzo(a) antracene	Crisene	Benzo(k) fluorantene	Benzo(a) pirene	Dibenzo(a,h) antracene	Benzo(g,h,i) perilene	Indeno(1,2,3- cd)pirene
			µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg
Lavello	2015	I	1,65	0,75	1,00	22,20	5,70	2,65	0,50	0,05	0,10	0,05	0,56	0,25	6,55	2,50
Stabilimento	2015	I	2,75	2,95	2,80	44,41	11,12	6,01	3,90	0,28	0,10	0,13	0,46	0,25	7,10	2,50
Favullo	2015	I	1,50	0,05	0,51	16,51	5,02	1,90	0,51	0,33	0,70	0,31	0,65	0,25	0,05	2,50
Lamiola	2015	I	1,25	0,05	5,05	22,04	6,43	1,75	0,45	0,05	0,10	0,13	0,31	0,25	0,05	2,50
Bizzarro	2015	I	6,75	5,60	7,50	62,51	16,38	4,85	0,51	0,15	0,50	0,05	0,53	0,25	0,05	2,50
Stabilimento	2015	II	3,67	0,26	3,28	4,83	0,27	2,01	0,87	0,05	0,19	0,05	0,03	0,25	0,05	2,50
Lamiola	2015	II	3,99	0,26	4,74	5,90	0,34	2,32	1,17	0,05	0,44	0,05	0,10	0,25	0,05	2,50
Bizzarro	2015	II	2,90	1,43	2,11	5,23	0,22	2,19	1,18	0,05	0,30	0,05	0,05	0,25	0,05	2,50
Lavello	2015	II	3,68	1,45	3,80	5,04	0,22	2,74	1,19	0,05	0,32	0,05	0,05	0,25	0,05	2,50
Favullo	2015	II	2,78	0,49	5,30	2,91	0,35	0,91	0,37	0,05	0,18	0,05	0,10	0,25	0,05	2,50
Stabilimento	2015	III	15,82	8,40	0,64	11,93	0,23	1,55	2,66	0,14	0,78	0,16	0,20	0,56	0,42	2,50
Lavello	2015	III	6,42	2,07	1,41	6,56	7,48	2,44	2,05	0,11	0,77	0,05	0,18	0,25	0,05	2,50
Lamiola	2015	III	8,46	3,59	0,25	5,47	11,13	1,32	1,31	0,05	0,48	0,05	0,09	0,25	0,05	2,50
Bizzarro	2015	III	13,64	3,64	0,25	7,41	13,25	2,53	1,90	0,13	0,80	0,05	0,13	0,25	0,19	2,50
Favullo	2015	III	19,05	4,87	0,25	7,41	12,37	1,99	2,09	0,09	0,34	0,10	0,15	0,25	0,28	2,50
Bizzarro	2016	I	2,17	0,66	0,25	13,79	0,77	5,88	13,23	0,05	1,65	0,09	0,54	0,25	1,98	2,50
Lamiola	2016	I	2,00	0,60	0,25	13,47	1,00	7,42	16,70	0,12	1,89	0,12	0,66	0,25	2,51	2,50
Bizzarro	2016	II	17,09	1,71	9,41	15,20	0,05	1,18	3,93	0,68	1,37	0,05	0,23	0,25	1,32	2,50
Lamiola	2016	II	9,10	0,89	5,86	25,94	0,05	1,16	7,66	0,48	1,07	0,05	0,05	0,25	0,05	2,50
Favullo	2016	II	11,92	1,71	0,25	29,53	0,05	1,22	5,49	0,59	0,96	0,10	0,05	0,25	0,05	2,50
Lavello	2016	II	8,28	2,27	0,25	34,49	0,05	1,62	5,47	0,51	1,46	0,05	0,05	0,25	0,05	2,50
Stabilimento	2016	II	10,49	1,26	9,95	30,15	0,05	1,41	6,62	0,62	1,19	0,05	0,05	0,25	0,05	2,50
Bizzarro	2016	III	8,35	5,27	0,25	19,07	1,33	11,42	17,53	4,08	5,17	5,37	8,30	1,50	1,68	2,50

Favullo	2016	III	0,50	2,41	0,25	6,44	0,52	5,85	7,52	0,68	1,21	0,98	1,07	0,25	0,50	2,50
Stabilimento	2016	III	5,12	5,32	0,25	12,35	0,82	6,15	7,68	0,61	0,52	0,65	0,64	0,25	0,25	2,50
Lamiola	2016	III	0,50	1,52	0,25	12,95	1,19	19,85	19,15	8,82	12,04	7,77	9,78	0,60	8,32	5,60
Bizzarro	2017	I	6,92	2,65	0,25	2,57	0,36	2,90	4,76	0,43	2,03	0,33	0,61	1,29	1,37	2,50
Lamiola	2017	I	12,14	3,65	0,25	0,00	0,40	1,67	4,05	0,05	0,92	0,16	0,34	0,44	1,08	2,50
Lavello	2017	I	0,50	0,06	0,25	0,00	0,05	1,39	2,78	0,56	0,65	0,22	0,42	0,27	0,70	2,50
Favullo	2017	I	3,69	1,51	0,25	5,00	0,28	1,20	3,24	0,13	0,64	0,09	0,31	0,55	0,75	2,50
Stabilimento	2017	I	6,15	1,38	0,25	7,58	0,37	1,86	3,66	0,56	2,54	0,44	0,82	1,95	1,89	2,50
Lamiola	2017	II	24,53	1,71	3,74	22,47	1,21	8,03	22,47	0,05	0,62	0,28	0,20	0,25	1,06	8,38
Bizzarro	2017	II	32,49	2,27	4,96	29,80	1,60	10,65	29,80	0,05	0,82	0,37	0,26	0,25	1,40	11,12
Favullo	2017	II	20,14	2,10	5,29	24,41	1,75	6,43	24,41	0,05	0,49	0,26	0,15	0,25	0,99	5,00
Lavello	2017	II	31,95	0,05	0,25	21,61	1,34	7,71	21,61	0,05	0,39	0,05	0,11	0,25	0,77	2,50
Stabilimento	2017	II	25,79	0,05	0,25	33,45	1,92	11,66	33,45	0,05	0,59	0,26	0,33	0,25	1,17	2,50
Bizzarro	2017	III	2,68	8,40	2,90	22,34	0,86	5,15	8,30	0,05	0,50	0,14	0,43	0,25	2,58	2,50
Lavello	2017	III	24,54	7,30	5,72	28,57	0,83	4,29	6,13	0,05	0,37	0,05	0,33	0,25	1,81	2,50
Favullo	2017	III	18,85	2,80	4,47	23,98	0,99	5,13	6,51	0,05	0,40	0,12	0,38	0,25	1,77	2,50
Stabilimento	2017	III	0,50	0,05	0,60	4,52	0,18	3,42	5,11	0,05	0,38	0,21	0,48	0,25	1,75	2,50
Bizzarro	2018	I	10,62	1,63	1,66	1,99	2,07	0,99	0,85	0,43	0,39	0,10	0,25	0,61	0,87	0,70
Favullo	2018	I	9,67	1,66	1,69	1,91	2,08	0,93	0,87	0,41	0,36	0,10	0,25	0,61	0,87	0,69
Bizzarro	2018	II	7,61	2,40	1,76	2,20	2,13	1,13	0,88	0,53	0,51	0,10	0,25	0,61	0,87	0,69
Lamiola	2018	II	7,67	2,66	1,74	2,09	2,12	0,87	0,81	0,41	0,35	0,10	0,25	0,60	0,87	0,69
Lavello	2018	II	6,42	1,80	1,69	1,90	2,10	0,88	0,82	0,41	0,35	0,10	0,25	0,62	0,86	0,70
Favullo	2018	II	51,19	6,91	3,62	6,55	3,08	1,32	1,76	0,45	0,52	0,10	0,25	0,61	0,95	0,73
Stabilimento	2018	II	8,70	2,44	1,64	2,01	2,11	0,91	0,83	0,42	0,36	0,10	0,25	0,60	0,88	0,70
Bizzarro	2018	III	7,19	1,76	1,71	2,08	2,05	0,91	0,97	0,40	0,36	1,65	0,25	0,61	0,87	0,25
Lamiola	2018	III	6,73	1,75	1,60	1,90	2,09	0,94	0,97	0,41	0,36	0,10	0,25	0,67	0,86	0,70

Lavello	2018	III	26,38	3,42	3,24	5,47	2,59	1,19	2,28	0,40	0,47	0,10	0,25	0,61	0,92	0,74
Favullo	2018	III	6,73	1,77	1,75	2,10	2,06	0,91	1,00	0,41	0,37	0,10	0,25	0,61	0,87	0,69
Stabilimento	2018	III	10,32	1,90	1,86	2,10	2,11	0,90	0,84	0,43	0,37	0,10	0,25	0,61	0,89	0,71
Bizzarro	2019	I	5,00	0,25	0,25	4,49	1,69	2,18	4,70	1,95	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	2,07
Favullo	2019	I	5,00	0,25	0,25	4,23	1,72	2,11	4,71	1,96	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	2,09
Lavello	2019	I	5,00	0,25	0,25	1,79	1,62	1,36	2,60	1,87	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Lamiola	2019	I	11,76	0,25	0,25	2,35	1,70	1,33	2,12	1,86	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Stabilimento	2019	I	14,17	0,25	1,05	4,08	1,79	1,90	3,64	1,97	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Lamiola	2019	II	29,94	0,25	0,69	3,13	1,72	1,48	2,63	1,83	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	2,05
Bizzarro	2019	II	22,34	0,25	0,25	2,55	1,71	1,38	2,23	1,81	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Favullo	2019	II	23,85	0,25	0,25	2,83	1,70	1,40	2,17	1,80	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	2,06
Lavello	2019	II	28,95	0,25	0,66	3,75	1,76	1,96	3,23	1,93	0,25	0,25	0,25	0,70	1,71	2,19
Stabilimento	2019	II	18,95	0,25	1,63	8,85	2,13	2,85	9,50	1,87	0,25	0,25	0,25	0,25	1,67	2,10
Stabilimento	2019	III	15,45	0,25	2,29	9,37	2,08	3,36	9,00	1,97	0,25	0,25	0,25	0,70	1,73	2,20
Lamiola	2019	III	5,00	0,25	0,64	6,22	1,88	2,54	6,83	1,85	0,25	0,25	0,25	0,67	1,70	2,11
Lavello	2019	III	5,00	0,25	0,25	4,91	1,84	2,15	4,87	1,83	0,25	0,25	0,25	0,65	0,25	0,25
Bizzarro	2019	III	12,52	0,25	1,56	7,19	1,94	3,15	7,00	2,13	0,25	0,68	0,25	0,76	1,92	2,36
Favullo	2019	III	5,00	0,25	0,63	6,25	1,92	2,23	5,76	1,82	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Lamiola	2020	II	5,00	1,22	0,68	3,78	0,25	0,25	1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,58	0,25
Favullo	2020	II	5,00	1,48	0,25	5,99	0,53	1,64	5,31	0,25	0,25	0,25	2,11	0,25	2,51	2,38
Bizzarro	2020	II	5,00	1,76	0,88	4,53	0,69	0,25	2,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Lamiola	2020	III	10,24	0,25	1,90	18,29	1,35	10,03	30,85	1,04	0,25	0,25	0,61	0,57	1,24	1,08
Favullo	2020	III	10,02	0,25	1,80	9,01	1,12	3,00	11,32	1,04	0,58	0,25	2,09	0,67	6,33	2,45
Stabilimento	2020	III	5,00	0,25	1,60	7,57	0,92	2,68	9,69	1,12	1,09	0,25	3,23	0,75	10,90	2,36
Lavello	2020	III	5,00	0,25	1,57	10,97	1,20	8,28	57,44	2,57	3,90	2,76	38,64	1,56	45,12	32,57
Bizzarro	2020	III	5,00	0,25	1,10	6,44	0,89	2,71	6,78	0,95	0,57	0,25	0,67	0,60	1,51	1,18

**Tabella 36.** Dati relativi agli IPA nei 75 campioni di *Apis mellifera* prelevati nei siti di monitoraggio di Rendina (Stabilimento), Bizzarro, Favullo, Lamiola e Lavello nel periodo 2015-2020. In rosso sono evidenziati i valori inferiori ai limiti di quantificazione, trattati secondo il criterio medium-bound.

Sito	Anno	Trimestre	Alluminio	Arsenico	Boro	Bario	Cadmio	Cobalto	Cromo	Rame	Ferro	Manganese	Nichel	Piombo	Vanadio	Zinco
			mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Lavello	2015	I	17,87	0,045	11,42	1,408	0,071	0,097	0,063	12,12	92,35	38,12	0,116	0,128	0,025	65,37
Stabilimento	2015	I	34,39	0,037	12,12	3,664	0,099	0,139	0,067	12,17	123,40	77,82	0,144	0,244	0,025	88,67
Favullo	2015	I	11,61	0,030	9,70	1,267	0,080	0,113	0,055	14,57	97,85	41,72	0,115	0,105	0,025	59,60
Lamiola	2015	I	9,14	0,019	14,46	0,538	0,068	0,075	0,025	8,92	71,37	45,66	0,136	0,025	0,025	38,81
Bizzarro	2015	I	13,05	0,019	12,66	8,810	0,076	0,090	0,025	11,63	93,54	43,84	0,150	0,067	0,025	49,82
Stabilimento	2015	II	2,50	0,023	7,20	3,347	0,045	0,105	0,065	13,58	79,51	56,65	0,450	0,309	0,025	76,45
Lamiola	2015	II	6,84	0,051	12,59	1,194	0,034	0,505	0,092	10,92	125,05	48,57	0,237	0,109	0,025	69,79
Bizzarro	2015	II	15,37	0,043	9,40	2,947	0,013	0,074	0,076	13,83	70,72	24,04	0,542	0,101	0,025	42,97
Lavello	2015	II	26,17	0,054	14,10	4,688	0,033	0,095	0,103	32,51	143,56	81,50	0,781	0,162	0,025	92,49
Favullo	2015	II	8,54	0,042	8,05	3,714	0,018	0,094	0,081	14,70	149,25	40,89	0,497	0,090	0,025	53,06
Stabilimento	2015	III	18,58	0,054	9,38	3,391	0,034	0,062	0,153	12,95	61,48	20,36	0,619	0,061	0,051	56,88
Lavello	2015	III	85,11	0,070	27,65	4,681	0,031	0,115	0,999	25,95	140,07	39,63	1,602	0,130	0,176	95,80
Lamiola	2015	III	28,39	0,030	11,26	1,784	0,038	0,078	0,238	13,26	81,59	29,12	0,871	0,025	0,076	56,68
Bizzarro	2015	III	11,84	0,036	6,55	1,041	0,026	0,068	0,490	11,23	62,26	24,46	0,544	0,025	0,038	54,06
Favullo	2015	III	71,41	0,077	25,94	4,104	0,023	0,105	0,104	26,85	137,29	38,77	0,766	0,103	0,185	90,93
Bizzarro	2016	I	6,49	0,040	19,41	1,094	0,187	0,166	0,916	13,42	87,79	114,09	0,235	0,068	0,025	80,46
Lamiola	2016	I	2,50	0,032	29,59	0,641	0,165	0,108	0,534	11,26	61,58	57,03	0,224	0,025	0,053	62,00
Bizzarro	2016	II	33,83	0,090	2,50	4,213	0,053	0,238	0,663	22,76	241,54	138,04	0,236	0,139	0,089	95,87
Lamiola	2016	II	23,28	0,085	2,50	2,754	0,063	0,337	0,504	20,99	249,75	122,59	0,233	0,175	0,057	172,15
Favullo	2016	II	31,94	0,126	2,50	8,131	0,045	0,210	0,522	19,53	198,95	215,00	0,375	0,117	0,136	116,74
Lavello	2016	II	11,77	0,126	2,50	5,531	0,087	0,191	0,316	27,04	218,69	237,44	0,198	0,212	0,116	196,07
Stabilimento	2016	II	39,63	0,092	2,50	4,038	0,040	0,269	0,702	17,74	239,64	93,36	0,246	0,155	0,118	133,12
Bizzarro	2016	III	50,06	0,244	13,32	3,317	0,050	0,154	1,218	19,13	208,79	75,60	0,649	0,158	0,160	143,01
Favullo	2016	III	47,18	0,255	22,74	4,143	0,069	0,233	2,653	20,39	240,54	118,77	1,432	0,169	0,172	109,59
Stabilimento	2016	III	31,10	0,122	13,44	3,026	0,037	0,127	1,767	18,08	175,09	62,01	0,683	0,159	0,091	106,01
Lamiola	2016	III	48,05	0,218	13,99	2,221	0,181	0,190	2,756	19,80	232,07	105,73	0,685	0,155	0,197	125,86

Bizzarro	2017	I	35,86	0,142	12,16	1,927	0,280	0,366	1,626	22,87	214,37	78,01	0,406	0,150	0,131	127,85
Lamiola	2017	I	39,57	0,188	14,71	2,443	0,197	0,481	0,773	21,46	203,87	116,80	0,247	0,173	0,217	119,35
Lavello	2017	I	44,18	0,187	15,84	1,436	0,194	0,415	1,021	20,34	196,04	127,49	0,586	0,855	0,205	124,48
Favullo	2017	I	54,43	0,196	13,49	2,457	0,158	0,429	1,149	29,95	276,24	171,79	0,394	0,242	0,235	220,56
Stabilimento	2017	I	62,51	0,175	17,78	2,046	0,201	0,409	1,668	20,28	244,07	148,95	0,339	0,140	0,235	103,87
Lamiola	2017	II	24,52	0,256	17,65	1,840	0,068	0,228	0,344	18,62	204,81	54,21	0,236	0,320	0,256	133,53
Bizzarro	2017	II	49,89	0,219	17,71	4,919	0,037	0,176	1,568	18,03	174,99	61,28	0,480	0,189	0,284	62,18
Favullo	2017	II	48,32	0,260	14,09	11,139	0,039	0,238	0,964	25,89	170,53	120,19	0,482	0,307	0,297	127,90
Lavello	2017	II	34,63	0,254	20,16	12,178	0,068	0,192	1,161	23,71	191,26	156,43	0,547	0,359	0,296	138,11
Stabilimento	2017	II	33,53	0,248	16,70	5,274	0,052	0,112	1,640	19,28	151,94	41,78	0,526	0,334	0,295	72,50
Bizzarro	2017	III	38,55	0,320	13,20	7,712	0,123	0,345	1,126	23,28	167,43	81,30	1,016	0,204	0,331	110,07
Lavello	2017	III	31,88	0,424	15,88	7,216	0,098	0,348	0,847	21,11	204,97	114,16	0,678	0,329	0,338	111,96
Favullo	2017	III	82,88	0,473	17,15	4,135	0,153	0,381	3,207	32,07	266,97	108,05	1,371	0,290	0,494	98,34
Stabilimento	2017	III	53,76	0,441	15,59	3,669	0,105	0,329	1,405	29,44	206,19	79,19	1,270	0,245	0,443	97,14
Bizzarro	2018	I	33,69	0,332	8,59	2,169	0,337	0,378	2,349	20,30	220,52	261,14	0,477	0,183	0,302	114,74
Favullo	2018	I	17,12	0,064	14,80	1,865	0,048	0,370	2,185	19,75	223,23	130,16	0,272	0,154	0,025	133,60
Bizzarro	2018	II	64,60	0,244	8,15	6,727	0,057	0,343	1,365	27,00	539,93	218,24	0,545	0,130	0,356	160,78
Lamiola	2018	II	30,40	0,251	9,76	3,878	0,060	0,244	1,399	30,68	261,30	124,02	0,399	0,181	0,347	176,54
Lavello	2018	II	18,71	0,214	7,14	4,123	0,038	0,171	1,408	28,50	242,53	146,74	0,290	0,112	0,327	129,22
Favullo	2018	II	16,34	0,187	6,31	2,718	0,032	0,182	1,301	26,64	249,29	121,91	0,278	0,106	0,297	123,77
Stabilimento	2018	II	18,76	0,126	2,50	4,059	0,013	0,074	1,217	27,15	188,90	49,25	0,310	0,217	0,221	96,30
Bizzarro	2018	III	59,99	0,141	9,22	4,237	0,087	0,214	0,261	29,48	161,75	114,64	0,257	0,675	0,177	123,09
Lamiola	2018	III	31,99	0,073	19,15	4,178	0,105	0,144	0,598	33,48	185,18	102,45	0,364	0,087	0,163	134,65
Lavello	2018	III	20,68	0,156	11,24	3,574	0,242	0,264	0,690	32,69	291,10	131,14	0,202	0,106	0,096	128,49
Favullo	2018	III	27,71	0,114	11,95	3,494	0,128	0,243	0,875	33,71	227,86	130,01	0,238	0,059	0,104	118,92
Stabilimento	2018	III	12,47	0,086	9,57	4,091	0,148	0,202	0,190	34,30	164,23	130,22	0,216	0,235	0,069	152,94
Bizzarro	2019	I	17,98	0,156	10,92	4,203	0,418	0,284	0,451	27,91	188,42	157,52	0,195	0,249	0,075	180,80
Favullo	2019	I	30,80	0,162	10,94	5,706	0,466	0,329	0,967	29,39	206,90	190,80	0,270	0,286	0,110	208,25
Lavello	2019	I	8,53	0,040	5,71	1,391	0,043	0,072	0,345	12,48	62,52	31,30	0,081	0,083	0,025	76,99
Lamiola	2019	I	38,83	0,046	5,75	0,941	0,018	0,030	0,393	13,86	66,00	10,92	0,097	0,025	0,025	54,99
Stabilimento	2019	I	19,62	0,134	10,54	3,204	0,327	0,247	0,396	22,59	185,02	121,73	0,180	0,195	0,073	142,32
Lamiola	2019	II	18,33	0,113	8,48	4,174	0,067	0,238	0,452	16,92	169,01	63,92	0,445	0,115	0,120	101,27
Bizzarro	2019	II	17,07	0,079	9,87	5,289	0,069	0,185	0,464	23,09	212,12	81,57	0,480	0,128	0,079	128,31
Favullo	2019	II	61,00	0,116	12,73	3,734	0,079	0,234	0,408	19,71	267,63	118,18	0,502	0,180	0,154	137,51
Lavello	2019	II	34,35	0,127	8,57	8,539	0,232	0,306	0,467	23,91	304,69	181,30	1,216	0,162	0,150	138,72

Stabilimento	2019	II	66,48	0,107	8,61	3,334	0,086	0,175	0,395	15,88	196,11	73,59	0,387	0,112	0,179	87,67
Stabilimento	2019	III	20,08	0,155	8,64	5,078	0,103	0,241	0,162	20,12	177,98	113,96	0,189	0,206	0,025	143,34
Lamiola	2019	III	14,36	0,157	9,95	4,839	0,087	0,197	0,275	17,51	166,79	89,87	0,226	0,137	0,069	109,96
Lavello	2019	III	11,73	0,161	11,35	4,846	0,101	0,228	0,295	19,34	181,34	114,78	0,262	0,189	0,062	140,28
Bizzarro	2019	III	11,30	0,146	9,67	3,821	0,079	0,186	0,273	17,84	179,92	87,63	0,936	0,158	0,053	124,76
Favullo	2019	III	11,13	0,139	11,01	5,024	0,100	0,222	0,266	18,98	176,88	105,07	0,180	0,222	0,025	139,15
Lamiola	2020	II	28,77	0,043	2,50	1,804	0,023	0,043	0,129	16,19	167,46	63,37	0,901	0,025	0,025	72,32
Favullo	2020	II	26,09	0,043	2,50	1,972	0,026	0,054	0,590	17,43	188,14	72,06	0,895	0,025	0,025	88,71
Bizzarro	2020	II	22,86	0,044	2,50	2,007	0,023	0,046	0,498	16,91	176,80	64,30	0,837	0,025	0,058	79,67
Lamiola	2020	III	66,38	0,092	6,09	1,740	0,080	0,124	1,591	17,56	223,74	104,44	1,640	0,167	0,090	151,18
Favullo	2020	III	47,33	0,109	5,18	2,018	0,087	0,129	1,916	17,30	247,80	108,48	1,778	0,193	0,077	157,91
Stabilimento	2020	III	62,57	0,078	6,66	1,883	0,084	0,126	1,362	16,12	207,47	94,33	1,716	0,172	0,086	148,77
Lavello	2020	III	51,34	0,107	5,60	2,090	0,085	0,139	0,708	17,93	241,95	121,78	1,211	0,204	0,075	154,92
Bizzarro	2020	III	62,70	0,095	5,73	1,558	0,074	0,110	1,460	18,73	235,19	87,32	1,728	0,230	0,085	148,33

**Tabella 37.** Dati relativi ai metalli, all'arsenico e al boro nei 75 campioni di *Apis mellifera* prelevati nei siti di monitoraggio di Rendina (Stabilimento), Bizzarro, Favullo, Lamiola e Lavello nel periodo 2015-2020. In rosso sono evidenziati i valori inferiori ai limiti di quantificazione, trattati secondo il criterio medium-bound.

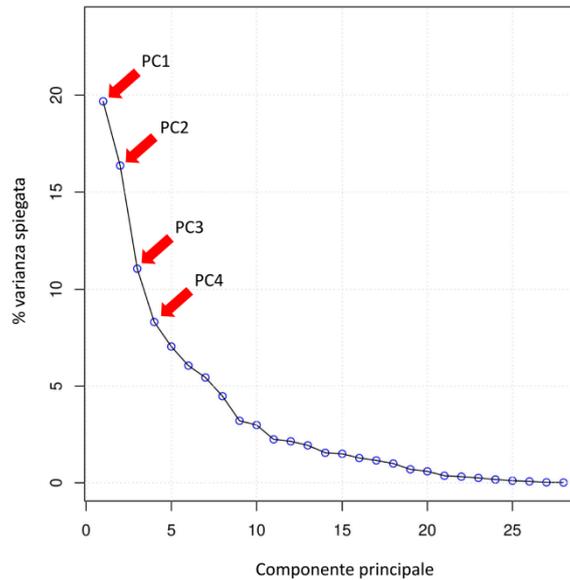
Osservando i valori evidenziati in rosso nella tabella 36, si può notare che i limiti di quantificazione di alcuni IPA sono stati modificati nel corso del periodo di monitoraggio: ciò è dovuto al fatto che l'analisi nei primi tre anni (2015-2017) è stata condotta mediante la tecnica HPLC-fluorescenza, mentre nei successivi tre anni (2018-2020) si è passati alla tecnica GC-MS/MS, con conseguenti modifiche nel metodo analitico e nei limiti di quantificazione. Questa circostanza nonché la presenza di un numero non trascurabile di dati inferiori ai limiti di quantificazione saranno considerate nella discussione dei risultati.

Anche nel caso dei dati relativi ai metalli nella matrice Apis mellifera, ai fini dell'elaborazione statistica qui presentata sono stati presi in considerazione i dati relativi al solo quinquennio 2016-2020, escludendo quindi quelli riferiti all'anno 2015 per i motivi già indicati nel caso delle matrici trattate nei precedenti capitoli. Allo scopo di consentire un'elaborazione unica dei dati comprendente sia gli IPA che i metalli, la stessa scelta è stata adottata nel caso degli IPA.

### **Risultati e discussione**

L'analisi delle componenti principali ha evidenziato una distribuzione della varianza (figura 38) in cui non esiste una netta differenziazione tra componenti portatrici di informazione significativa e componenti poco significative: nessuna componente fornisce infatti un contributo alla descrizione della varianza tale da prevalere nettamente su quello delle altre componenti, mentre molte componenti (almeno le prime 9) forniscono un contributo non trascurabile, come risulta dalla posizione dei punti che determinano la curva rappresentata in figura 38.

Le prime quattro componenti principali, che si trovano evidenziate nella stessa figura 38 e che verranno considerate nel prosieguo della discussione, spiegano poco più del 55% della varianza complessiva e nessuna di esse singolarmente contribuisce per più del 20%.



**Figura 38.** Percentuale di varianza associata alle componenti principali, con evidenziazione delle quattro componenti più significative.

Come mostrato in figura 39, dove sono rappresentati i loadings delle prime quattro componenti principali, cioè i coefficienti numerici con cui le diverse variabili contribuiscono alla determinazione delle suddette componenti, la prima componente principale PC1 descrive principalmente la varianza relativa alle variabili degli IPA, in particolare alle specie a medio e alto peso molecolare, e in misura minore ai metalli nichel, alluminio e cromo: ciò è segnalato dai valori (positivi o negativi) relativamente elevati dei rispettivi coefficienti (figura 39a). Il fatto che i coefficienti siano negativi indica semplicemente che le rispettive variabili sono inversamente correlate alla componente principale PC1, cioè che a valori (positivi) elevati di tali variabili corrispondono valori negativi della componente principale.

Per quanto riguarda la componente PC2 (figura 39b), la cui varianza associata è 16,4%, si può osservare che il maggior contributo è dato da specie metalliche, in particolare vanadio, cobalto, rame e ferro, nonché dal non metallo arsenico e, in misura meno significativa, dagli IPA a basso peso molecolare (acenaftene, naftalene, fluorene, fenantrene).

La componente PC3 (figura 39c), la cui varianza associata è 11,1%, riceve i principali contributi (di segno negativo) da zinco, manganese, cadmio e da dibenzo[a,h]antracene, mentre un

contributo significativo di segno positivo viene da fenantrene e in generale da IPA a basso peso molecolare.

Infine, la componente PC4 (figura 39d), la cui varianza associata è 8,3%, presenta un quadro di contributi molto frastagliato: tra i contributi di segno negativo, i più significativi vengono da boro, cromo, crisene e benzo[k]fluorantene, mentre i principali contributi di segno positivo vengono da indeno[1,2,3-cd]pirene, benzo[g,h,i]perilene, benzo[a]pirene e fluorene.

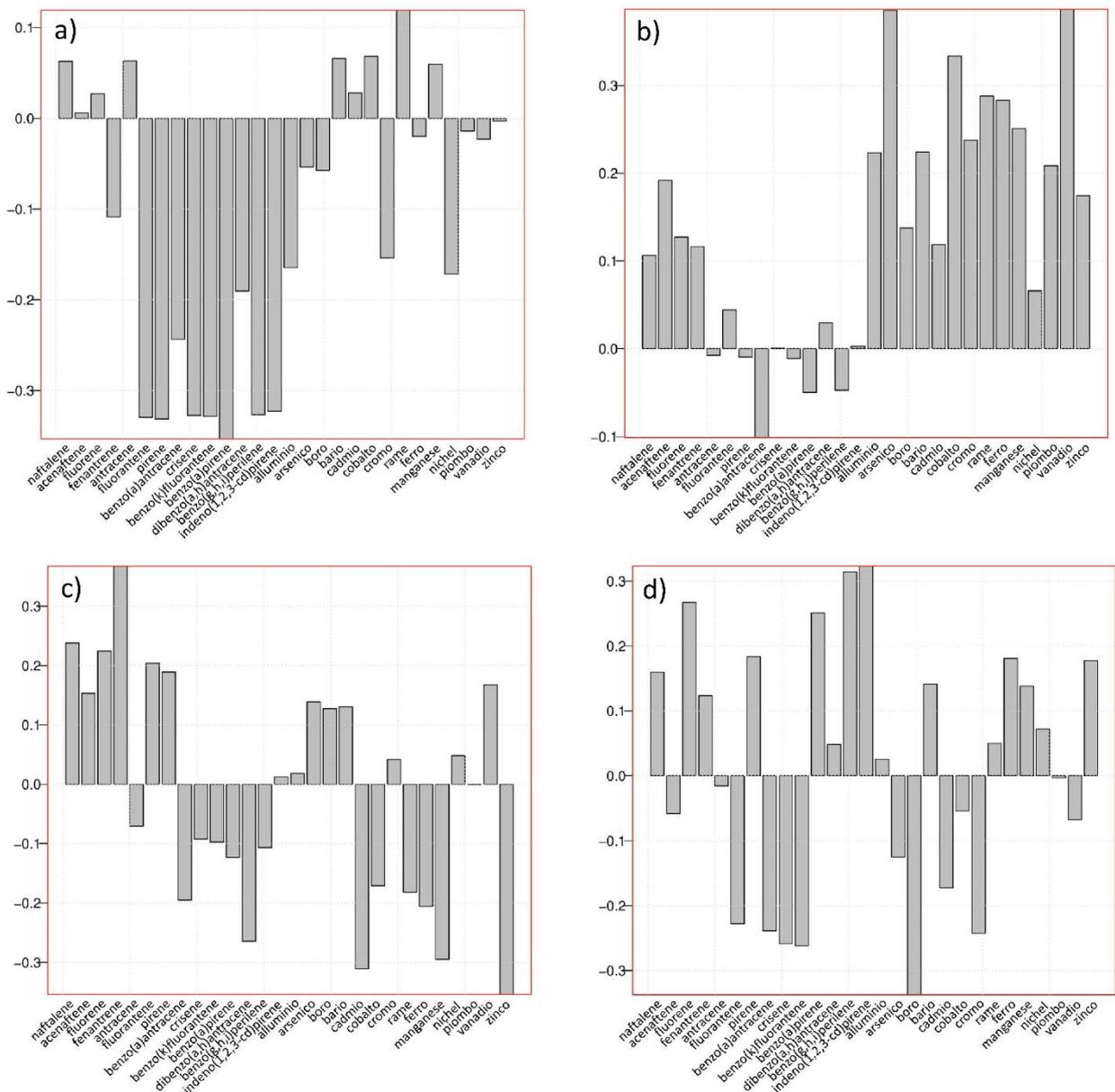


Figura 39. Loadings delle prime quattro componenti principali: a) PC1; b) PC2; c) PC3; d) PC4. I loadings sono i coefficienti numerici normalizzati (cioè con somma quadratica pari a 1 e valori compresi tra 1 e -1), rappresentati sull'asse verticale dei grafici, che



variabili analitiche nello spazio delle componenti principali PC1 e PC2 (bi-plot). I loadings sono i coefficienti numerici che rappresentano l'importanza delle variabili originali nelle componenti principali.

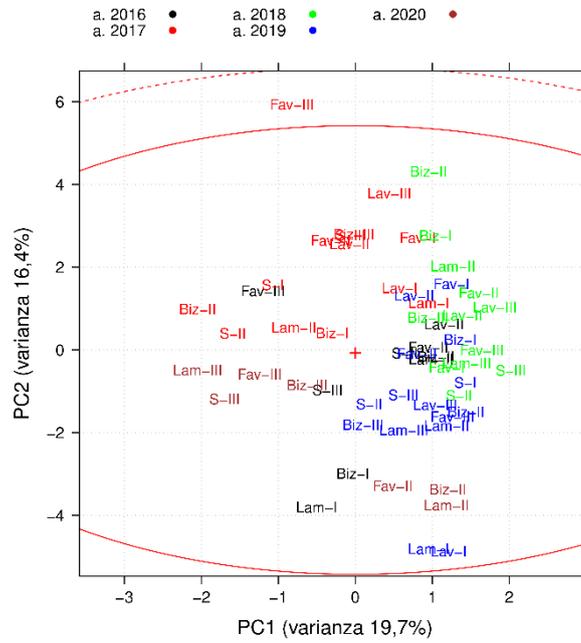
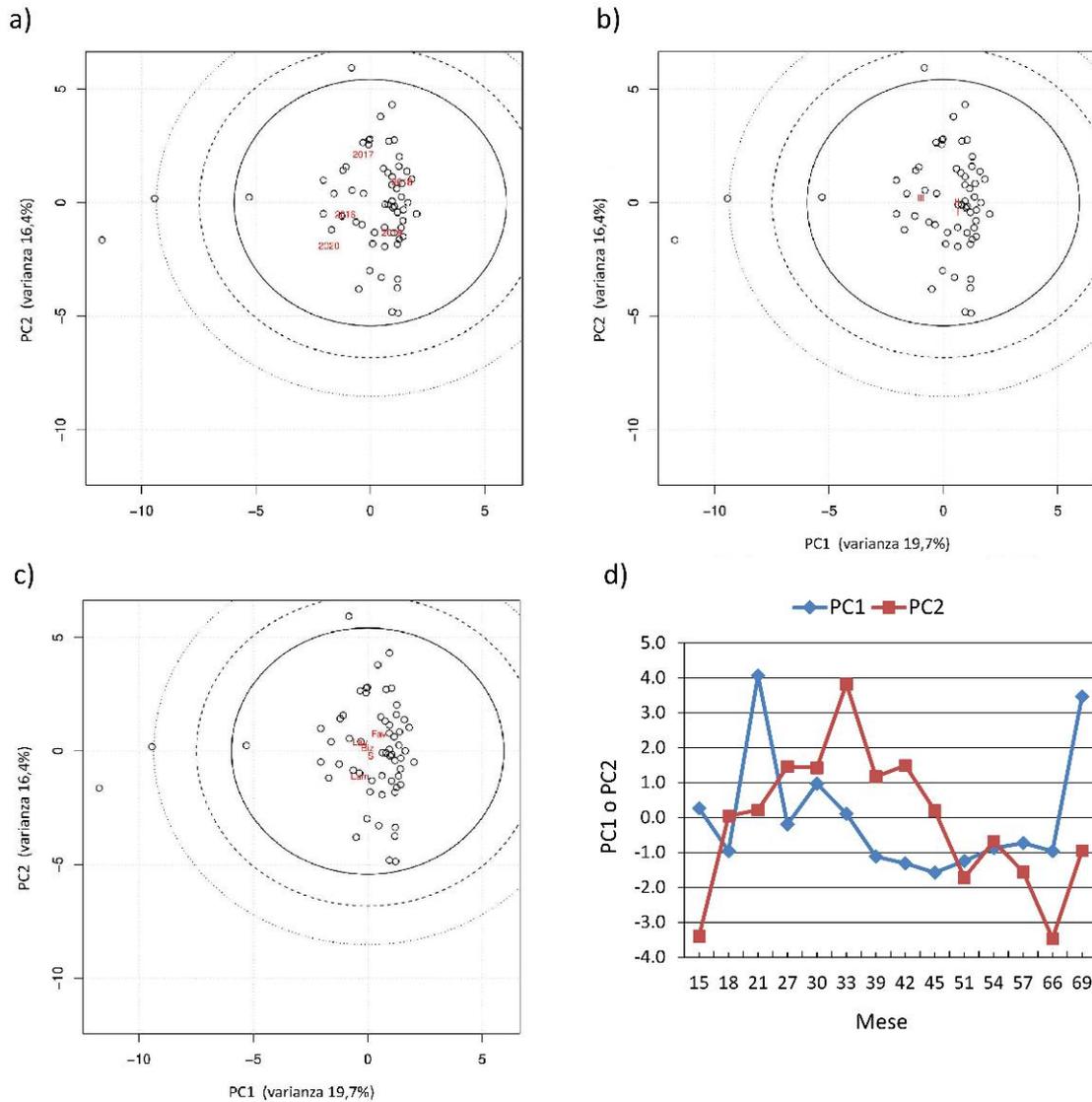


Figura 41. Dettaglio della figura 40a

Osservando la figura 40a e il suo ingrandimento in figura 41 si possono notare inoltre alcuni raggruppamenti nell'insieme dei campioni, che sembrano determinati principalmente dall'anno e dal trimestre di campionamento piuttosto che dalla localizzazione dei siti. La figura 42 illustra questi andamenti rappresentando le medie dei campioni per anno, trimestre e sito nel sistema delle coordinate PC1 e PC2 (figure 42a, 42b e 42c) e l'andamento mensile delle stesse due coordinate (figura 42d) in funzione del mese progressivo di campionamento. Per quanto riguarda la componente PC1 non emerge un andamento significativo: i valori leggermente più elevati relativi agli anni 2016 e 2020 (figura 42a) sono dovuti alla presenza dei campioni anomali segnalati in precedenza, che determinano anche i due picchi presenti nel grafico in figura 42d ai mesi 21 (III trimestre 2016) e 69 (III trimestre 2020) e lo scostamento della media del terzo trimestre rispetto alle medie dei primi due trimestri (figura 42b).

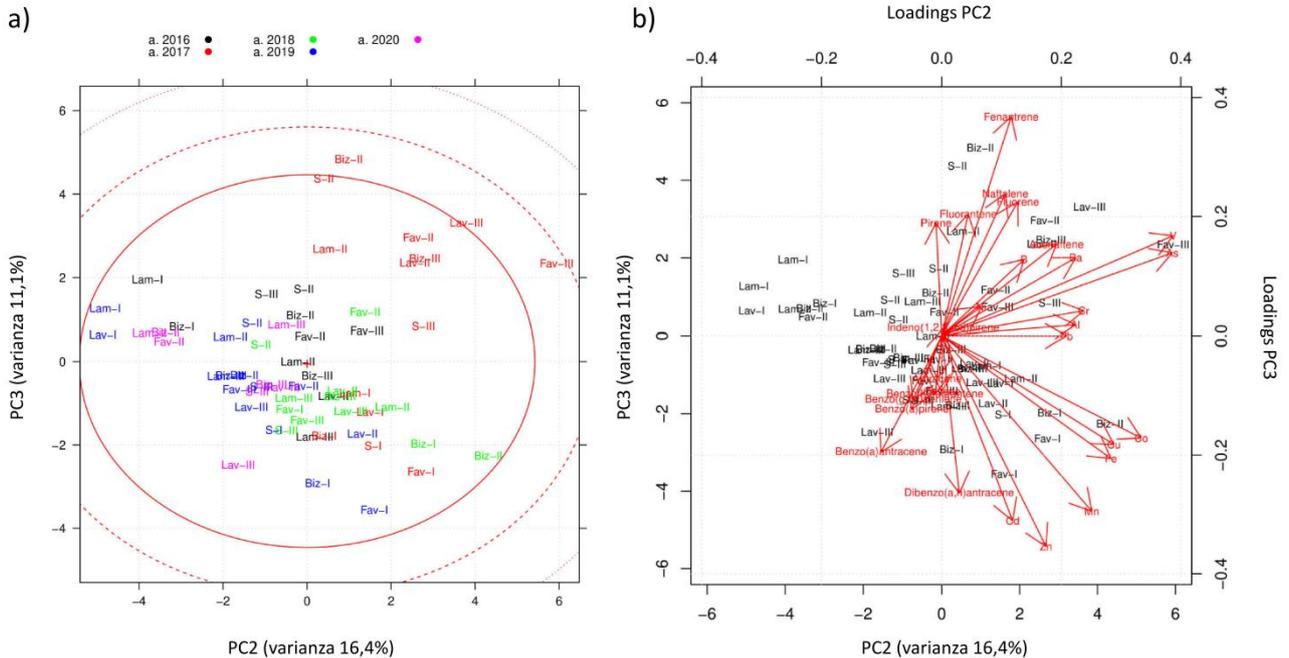
Non risulta inoltre una differenziazione tra le medie dei siti (figura 42c): lo scostamento tra il sito di Favullo, che presenta il valore più alto della componente PC1 (0,49), e quelli di Lamiola e

Lavello, che presentano i valori più bassi (-0,35 e -0,34), è poco significativo. Per quanto riguarda la componente PC2, l'andamento temporale in figura 42d mostra un profilo fortemente crescente fino al mese 33 (III trimestre 2017), seguito da un sensibile decremento fino al mese 51 (I trimestre 2019); meno significativo l'andamento nei mesi successivi, che vede un secondo lieve aumento al mese 54 (II trimestre 2019), un nuovo significativo decremento fino al mese 66 (II trimestre 2020) e infine un nuovo aumento al mese 69 (III trimestre 2020). Non c'è neanche in questo caso una differenziazione significativa tra le medie dei trimestri (figura 42b); riguardo alle medie dei siti (figura 42c), si osserva uno scostamento degno di nota tra i siti di Favullo (0,75) e Lamiola (-1,10), dovuto a una differente distribuzione della maggior parte degli analiti metallici, mentre gli altri tre siti si differenziano poco dalla media dell'insieme. L'andamento osservato in figura 42d, in particolare il picco al mese 33, è dovuto al comportamento piuttosto omogeneo di tutti i campioni del III trimestre 2017 (figura 40a), caratterizzati da valori relativamente elevati soprattutto di vanadio, arsenico, ferro e piombo (figura 40b), valori che tuttavia non sono stati confermati dai monitoraggi successivi.



**Figura 42.** a,b,c,d) Rappresentazione grafica nel piano individuato dalle componenti principali PC1 e PC2 delle medie dei campioni per: a) anno; b) trimestre; c) sito. d) Rappresentazione delle medie dei valori (scores) delle componenti principali dei campioni per mese di campionamento. La numerazione progressiva dei mesi segue l'anno solare, con inizio a gennaio 2015. La componente PC1 è stata cambiata di segno per tenere conto dei coefficienti negativi con cui le principali variabili contribuiscono alla sua determinazione.

La rappresentazione dei dati nel sistema delle componenti principali PC2 e PC3 (figura 43) non aggiunge informazioni significative al quadro che è stato finora delineato.



**Figura 43.** a) Rappresentazione grafica dei dati nel piano individuato dalle componenti principali PC2 e PC3 (score-plot). L'origine degli assi rappresenta la media dei dati. I dati sono caratterizzati da una sigla in cui le lettere indicano la stazione di monitoraggio (S=stabilimento di Rendina; Biz=Bizzarro; Fav=Favullo; Lam=Lamiola; Lav=Lavello) e i numeri romani (I, II, III) il trimestre (calcolato con riferimento all'anno solare di riferimento), mentre i differenti colori indicano l'anno solare di riferimento. Le ellissi presenti nel grafico e marcate con linee rosse piene e tratteggiate delimitano, dall'interno verso l'esterno, le aree corrispondenti ai livelli di confidenza del 95%, 99% e 99,9% nella distribuzione  $T^2$  della varianza. b) Rappresentazione grafica simultanea dei dati e delle variabili analitiche nello spazio delle componenti principali PC2 e PC3 (bi-plot). I loadings sono i coefficienti numerici che rappresentano l'importanza delle variabili originali nelle componenti principali.

## Conclusioni

L'analisi multivariata dei dati del monitoraggio degli IPA e dei metalli condotto nel periodo 2016-2020 su campioni di *Apis mellifera* prelevati in cinque siti situati in prossimità dell'impianto termovalorizzatore di Melfi (PZ) non ha consentito di rilevare tendenze significative su base stagionale e annuale nell'andamento dei valori degli analiti oggetto di indagine. Non risultano inoltre fenomeni rilevanti nella distribuzione degli analiti fra i diversi siti di indagine. Infine, l'analisi dei rapporti tra gli analiti in esame non ha rivelato correlazioni significative tra le due classi principali di variabili IPA e metalli.

#### 4.4 Monitoraggio dei metalli pesanti e degli idrocarburi policiclici aromatici nel miele



Figura 44. Campione di telaino di miele prima della separazione della cera dal miele



Figura 45. Separazione del miele dalla cera

In questo capitolo si analizzano i dati riguardanti le analisi di idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e metalli in campioni che derivano dai prodotti delle Api (miele e cera di *Apis mellifera*) prelevati nel quadro del programma di biomonitoraggio degli impatti ambientali dell'impianto di termovalorizzazione di Melfi (PZ).

Nella figura 44 viene mostrato un campione di miele nel telaino di cera, mentre nella figura 45 viene mostrato il campione di miele dopo che le due matrici ( miele e cera) sono state separate e i campioni sono pronti per le analisi di laboratorio.

Le due matrici hanno una natura completamente diversa. La cera è una matrice lipofila che accumula per affinità inquinanti lipofili, quali possono essere ad esempio gli idrocarburi policiclici aromatici, come vedremo nel capitolo successivo. Il miele è una matrice di tipo idrofilo, ovvero solubile in solventi acquosi. Nel corso di questi anni di monitoraggio ( dal 2015 al 2020) sono state effettuate determinazioni di IPA e di metalli pesanti sulla matrice miele, e la gran mole di dati ottenuti ci ha permesso di osservare come in tale matrice non vi sia accumulo di inquinanti come IPA e metalli. La gran parte dei dati, infatti, è risultata inferiore al nostro limite di quantificazione per cui non è possibile effettuare una elaborazione statistica o un confronto fra i dati.

#### 4.5 Monitoraggio degli idrocarburi policiclici aromatici nelle cere



Figura 46. Campione di cera separato dal miele

Questo capitolo ha per oggetto un'elaborazione statistica dei dati riguardanti l'analisi di idrocarburi policiclici aromatici (IPA) nei campioni di cera di *Apis Mellifera* che è stata condotta nel quadro del programma di biomonitoraggio degli impatti ambientali dell'impianto di termovalorizzazione di Rendina (PZ).

Tale matrice biologica risulta particolarmente affine chimicamente agli analiti studiati e quindi adatta a favorire il loro accumulo e ritenzione nel tempo.

Un totale di 65 campioni di cera d'api sono stati prelevati con cadenza trimestrale nel periodo 2015-2020 dalle cinque stazioni di monitoraggio di Rendina (Stabilimento o Impianto), Bizzarro, Favullo, Lamiola e Lavello. Gli IPA oggetto di indagine (naftalene, acenaftene, fluorene, fenantrene, antracene, fluorantene, pirene, benzo[a]antracene, crisene, benzo[k]fluorantene, benzo[a]pirene, dibenzo[a,h]antracene, benzo[g,h,i]perilene e indeno[1,2,3-cd]pirene) sono molecole di nota rilevanza tossicologica riconducibili a processi di combustione di origine antropica o naturale. Alcuni di essi sono inclusi tra le sostanze per le quali la normativa italiana ed europea richiede il monitoraggio nelle matrici ambientali.

### **Trattamento dei dati**

I dati su cui è stata effettuata l'elaborazione statistica sono riportati in tabella 38, dove i valori inferiori ai limiti di quantificazione (LOQ), evidenziati in rosso, sono stati trattati secondo il criterio "medium-bound", cioè posti uguali alla metà dei rispettivi LOQ.

Sito	Anno	Trimestre	Fenantrene	Antracene	Fluorantene	Pirene	Benzo(a) antracene	Crisene	Benzo(k) fluorantene	Benzo(a) pirene	Benzo(g,h,i) perilene
			µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg
Stabilimento	2015	II	5,94	0,27	2,48	1,21	0,56	1,52	0,55	1,36	0,72
Bizzarro	2015	II	6,57	0,30	3,02	1,04	0,10	0,54	0,09	0,12	0,23
Lamiola	2015	II	13,17	2,12	7,86	1,63	0,50	1,72	0,09	0,05	0,17
Stabilimento	2015	III	6,39	0,37	6,48	2,98	0,23	3,53	0,28	1,28	0,68
Lavello	2015	III	5,63	0,09	5,25	2,61	0,07	3,27	0,20	1,07	0,50
Lamiola	2015	III	6,27	0,23	4,80	2,54	0,05	2,00	0,09	0,50	0,23
Bizzarro	2015	III	4,78	0,26	5,48	3,48	0,59	2,54	0,29	0,79	0,58
Favullo	2015	III	3,28	0,16	3,14	1,87	0,34	2,22	0,12	0,62	0,30
Bizzarro	2016	I	6,00	0,05	0,50	3,30	1,00	3,27	3,11	0,89	2,70
Stabilimento	2016	I	6,00	0,05	2,50	6,00	2,00	5,12	4,89	2,99	4,60
Lamiola	2016	I	17,00	0,50	8,00	10,00	2,00	5,20	7,41	2,14	5,10
Favullo	2016	I	30,00	2,10	24,50	23,00	9,00	18,11	14,79	10,11	13,10
Bizzarro	2016	II	3,37	0,41	3,94	3,70	0,40	2,36	0,23	0,76	1,60
Lamiola	2016	II	4,75	0,21	4,60	3,71	0,40	2,92	0,26	0,93	0,05
Favullo	2016	II	5,82	0,17	1,58	0,94	0,05	0,33	0,01	0,09	0,05
Lavello	2016	II	8,27	0,40	4,77	3,72	0,40	2,95	0,33	1,10	0,47
Stabilimento	2016	II	3,33	0,22	2,63	2,54	0,20	0,74	0,18	0,48	0,05
Bizzarro	2016	III	5,79	0,56	5,12	8,48	4,23	6,69	4,46	5,82	6,71
Lamiola	2016	III	22,59	7,96	80,35	65,31	30,25	38,15	23,71	34,43	28,99
Lavello	2016	III	5,34	0,61	15,78	11,93	4,97	6,28	3,21	3,68	4,07
Favullo	2016	III	2,41	0,05	2,08	1,93	0,91	2,15	0,95	0,89	1,31
Stabilimento	2016	III	2,31	0,21	1,21	1,45	0,43	1,11	0,36	0,41	0,75
Bizzarro	2017	I	3,05	0,12	0,50	0,25	n.d.	0,15	0,42	0,19	0,36

Lamiola	2017	I	3,41	0,39	1,13	1,73	0,70	1,74	0,74	0,62	1,04
Lavello	2017	I	5,19	0,29	0,50	1,33	0,18	0,76	0,47	0,41	0,75
Favullo	2017	I	1,34	0,15	0,50	0,25	0,21	0,15	0,15	0,20	0,23
Stabilimento	2017	I	2,90	0,30	0,50	1,10	0,30	0,50	1,30	0,30	0,05
Lamiola	2017	II	4,14	0,30	2,14	2,17	0,39	0,77	0,35	0,32	0,80
Bizzarro	2017	II	3,41	0,29	6,53	6,23	2,39	3,25	1,82	2,75	2,83
Favullo	2017	II	1,85	0,24	0,35	1,93	0,71	0,91	0,53	0,48	0,82
Lavello	2017	II	1,05	0,05	0,50	0,96	0,15	0,15	0,12	0,14	0,23
Stabilimento	2017	II	4,73	0,05	2,83	2,60	0,45	0,36	0,49	0,33	0,67
Bizzarro	2017	III	1,33	1,39	1,17	1,34	1,50	1,26	1,57	2,23	2,15
Lavello	2017	III	3,84	0,13	0,50	0,79	0,15	0,41	0,19	0,30	0,99
Favullo	2017	III	0,44	0,05	0,50	1,15	0,70	1,13	0,53	0,94	1,06
Stabilimento	2017	III	2,93	0,35	4,42	3,62	1,86	2,91	1,34	2,61	1,06
Bizzarro	2018	I	1,86	1,60	1,54	1,91	2,09	0,25	0,25	2,22	1,73
Lamiola	2018	I	12,35	2,52	6,32	7,80	3,13	4,19	1,12	3,89	2,90
Stabilimento	2018	I	13,85	2,25	4,70	6,14	2,78	2,90	1,33	3,62	3,40
Favullo	2018	I	13,54	2,09	5,01	6,15	2,50	2,46	0,94	3,92	10,39
Bizzarro	2018	II	15,41	2,36	4,76	6,27	3,03	3,07	1,40	3,34	3,25
Lamiola	2018	II	13,25	2,00	6,93	8,04	3,73	5,39	1,76	6,08	29,10
Lavello	2018	II	11,97	2,17	5,17	6,72	3,01	3,66	1,93	4,47	11,20
Favullo	2018	II	14,91	2,68	9,64	10,45	6,60	13,23	4,47	7,07	7,71
Bizzarro	2018	III	7,62	2,04	2,60	3,10	2,34	1,16	0,10	0,75	0,44
Lamiola	2018	III	7,48	1,70	2,35	2,94	2,35	2,99	0,25	2,36	2,18
Lavello	2018	III	8,22	2,05	2,81	3,45	2,77	2,45	0,85	1,33	0,75
Favullo	2018	III	5,17	1,71	3,37	3,65	2,99	2,74	0,92	3,12	3,06
Stabilimento	2018	III	19,00	2,00	2,77	3,28	2,37	1,55	1,09	0,65	0,36

Lamiola	2019	II	4,75	1,70	2,31	2,92	2,27	0,72	0,25	2,38	1,98
Bizzarro	2019	II	6,08	1,77	2,62	3,07	2,49	0,25	0,75	2,79	2,59
Favullo	2019	II	9,82	1,81	2,81	3,38	0,25	0,25	0,25	2,35	1,96
Lavello	2019	II	3,94	1,67	1,89	2,20	0,25	0,25	0,25	2,24	1,78
Stabilimento	2019	II	20,71	3,52	6,12	10,29	3,69	5,39	2,54	5,64	6,60
Stabilimento	2019	III	3,85	1,92	2,03	3,16	2,18	0,67	0,25	2,28	1,93
Lamiola	2019	III	4,98	0,25	2,64	4,16	2,44	1,83	0,25	2,62	2,14
Lavello	2019	III	14,52	2,90	4,91	9,87	2,55	2,96	0,76	3,25	2,68
Bizzarro	2019	III	3,56	1,92	1,93	2,82	2,16	0,61	0,25	2,25	1,80
Favullo	2019	III	4,81	2,07	2,32	3,99	2,27	1,20	0,69	2,69	2,11
Lamiola	2020	II	6,07	2,08	2,55	2,76	2,42	1,86	1,36	1,87	2,66
Favullo	2020	II	7,23	2,25	3,05	3,28	2,62	2,45	1,48	2,38	3,57
Bizzarro	2020	II	7,60	2,47	3,27	4,20	2,68	3,70	1,49	2,78	3,85
Stabilimento	2020	III	30,76	2,61	6,54	11,02	2,77	8,37	2,01	1,96	7,33
Lavello	2020	III	15,23	1,45	3,29	3,82	1,28	0,62	0,64	0,74	1,28
Bizzarro	2020	III	25,72	1,61	4,46	5,32	1,68	1,06	0,93	0,98	3,22

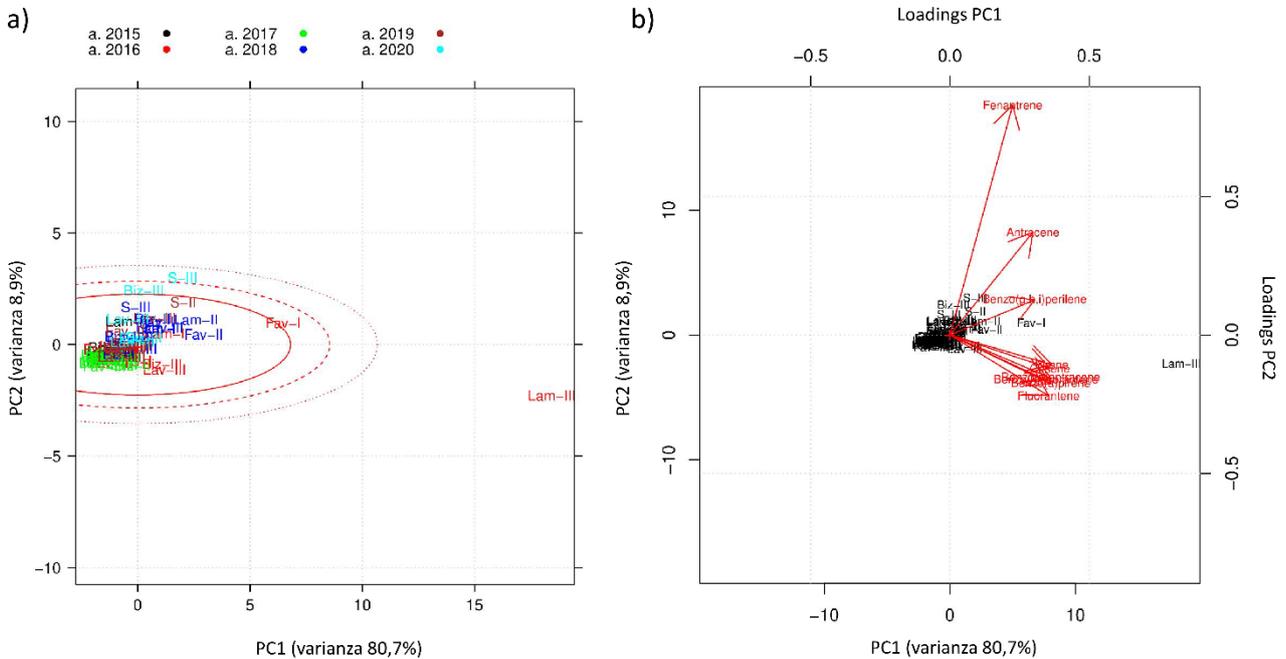
**Tabella 38.** Dati relativi agli IPA nei campioni prelevati nei siti di monitoraggio di Rendina (Stabilimento), Bizzarro, Favullo, Lamiola e Lavello nel periodo 2015-2020. In rosso sono evidenziati i valori inferiori ai limiti di quantificazione, trattati secondo il criterio medium-bound.

Anche nel caso della determinazione analitica degli IPA nelle cere, come nel caso della matrice *Apis mellifera*, i limiti di quantificazione di alcuni degli analiti sono stati modificati nel corso del periodo di monitoraggio, in quanto l'analisi nel primo triennio di monitoraggio è stata condotta con una tecnica analitica differente rispetto al triennio successivo. Il cambiamento del metodo di analisi ha comportato anche un miglioramento delle performance analitiche, che si è tradotto in valori misurati mediamente superiori a quelli ottenuti con la precedente tecnica. Tale aumento è evidente in particolare per tre degli analiti in esame (fluorene, dibenzo[a,h]antracene e indeno[1,2,3-cd]pirene), che nel primo triennio di monitoraggio presentavano valori inferiori al LOQ, mentre sono stati quantificati in un consistente numero di campioni analizzati nel triennio successivo (tabella 38). Gli analiti per i quali un numero consistente di dati risultava inferiore al LOQ non sono stati considerati ai fini dell'elaborazione statistica. Gli effetti del cambiamento del metodo di analisi e della presenza di dati inferiori al limite di quantificazione saranno considerati nella successiva discussione dei risultati dell'elaborazione statistica.

### **Risultati e discussione**

La rappresentazione grafica dei dati nel sistema delle componenti principali PC1 e PC2, le quali descrivono complessivamente quasi il 90% della varianza osservata (80,7%+8,9%), mostra che la maggior parte dei campioni presenta scostamenti dalla media entro l'intervallo critico corrispondente al livello di confidenza del 95% (figura 47a). In altri termini, si tratta di campioni che non presentano anomalie dal punto di vista della distribuzione della varianza della popolazione oggetto di indagine. Fanno eccezione a questo comportamento i dati relativi alla stazione di monitoraggio di Lamiola nel terzo trimestre (Lam-III) dell'anno 2016 e, in misura minore, quelli relativi ai siti di Favullo nel primo trimestre (Fav-I) dell'anno 2016 e di Rendina nel terzo trimestre (S-III) dell'anno 2020 (figura 47a). Il campione Lam-III dell'anno 2016 costituisce un'anomalia per i valori estremamente elevati delle variabili benzo[a]antracene, pirene, crisene, benzo[a]pirene, fluorantene e benzo[k]fluorantene, che danno un contributo preponderante alla varianza descritta dalla componente PC1 (figura 47b). Significativi sono anche gli scostamenti dalla media dei citati campioni Fav-I e S-III (figura 47a), dovuti nel primo caso al valore elevato della

componente PC1, nel secondo caso al valore della componente PC2, cui dà un contributo preponderante la variabile fenantrene (figura 47b).



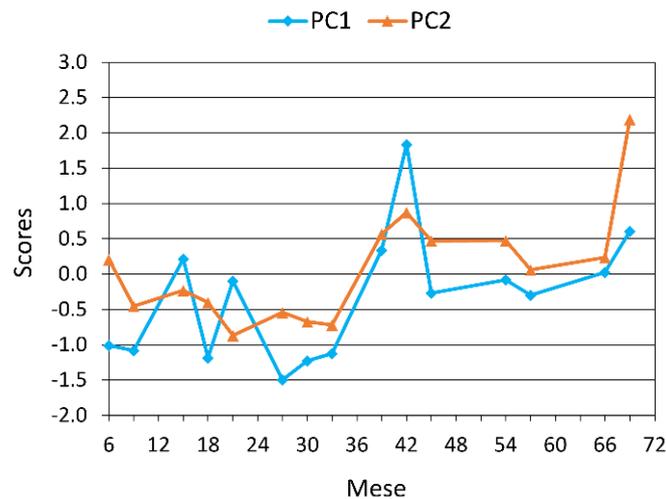
**Figura 47.** a) Rappresentazione grafica dei dati nel piano individuato dalle componenti principali PC1 e PC2 (score-plot). L'origine degli assi rappresenta il vettore delle medie dei dati. I dati sono caratterizzati da una sigla in cui la parte letterale indica la stazione di monitoraggio (S=stabilimento di Rendina; Biz=Bizzarro; Fav=Favullo; Lam=Lamiola; Lav=Lavello) e il numerale romano il trimestre dell'anno solare (I, II, III) in cui è stato effettuato il campionamento, mentre il colore indica l'anno solare, come illustrato dalla didascalia interna. Le ellissi presenti nel grafico e marcate con linee rosse piene e tratteggiate delimitano, dall'interno verso l'esterno, le aree corrispondenti ai livelli di confidenza del 95%, 99% e 99,9% nella distribuzione  $T^2$  della varianza. b) Rappresentazione grafica simultanea dei dati e delle variabili analitiche nel piano delle componenti principali PC1 e PC2 (bi-plot). I loadings sono i coefficienti numerici che rappresentano l'importanza delle variabili originali nelle componenti principali.

Analizzando la relazione esistente tra le variabili analitiche e le componenti principali PC1 e PC2 (figura 47b), si può notare inoltre che la componente PC1, che spiega oltre l'80% della varianza osservata, descrive soprattutto la presenza di IPA a medio-alto peso molecolare (da fluorantene a benzo[g,h,i]perilene), mentre la componente PC2, responsabile di circa il 9% della varianza, descrive soprattutto i due IPA a basso peso molecolare fenantrene ed antracene.



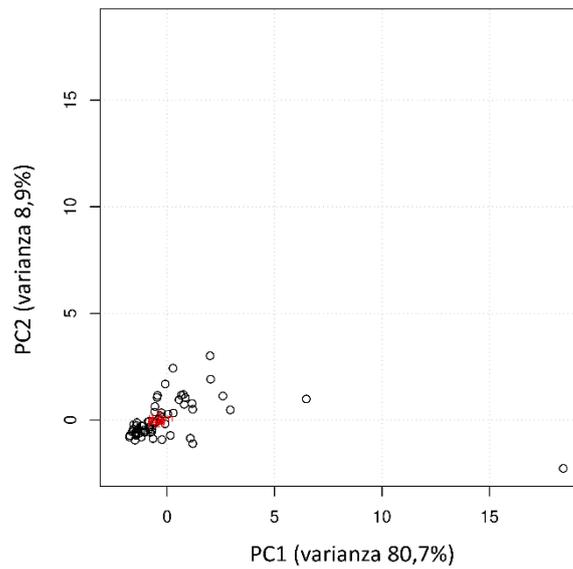


saranno acquisiti successivamente. Sulla base delle informazioni attualmente disponibili e chiaramente interpretabili si può dire che non si osserva una tendenza consolidata nel tempo né di aumento né di diminuzione dei parametri oggetto di monitoraggio. I valori più elevati osservati in occasione di singoli campionamenti, peraltro non corroborati da dati univoci in tutti e cinque i siti di monitoraggio, forniscono un'informazione che in mancanza di ulteriori indagini non può essere interpretata.



**Figura 50.** Rappresentazione delle medie dei valori (scores) delle componenti principali PC1 e PC2 dei campioni per mese di campionamento. La numerazione progressiva dei mesi si intende a partire dall'1 gennaio 2015. Sono stati esclusi nel calcolo delle medie ai mesi 15 e 21 i dati difformi Lam-III e Fav-I.

Infine, per valutare se esista una differenza fra i cinque siti di monitoraggio in termini di posizione nel piano delle componenti principali e quindi di distribuzione degli analiti monitorati, il vettore costituito dai valori medi per ogni sito degli analiti è stato proiettato nel piano delle componenti PC1 e PC2 (figura 51). Il confronto in figura 51 mostra che non esistono differenze tra i diversi siti, i cui valori medi si discostano poco da quelli relativi all'intera popolazione.



**Figura 51.** Proiezione nel piano delle componenti principali PC1 e PC2 delle medie dei dati analitici relativi ai cinque siti di monitoraggio di Rendina (S), Bizzarro (Biz), Favullo (Fav), Lamiola (Lam) e Lavello (Lav).

## Conclusioni

L'analisi multivariata dei dati del monitoraggio degli IPA condotto nel periodo 2015-2020 su campioni di cera d'api prelevati in cinque siti situati in prossimità dell'impianto termovalorizzatore di Melfi (PZ) non ha rilevato nel corso del tempo tendenze consolidate di aumento o diminuzione dei valori degli analiti oggetto di indagine. Inoltre, considerando le medie dei dati raccolti nei singoli siti di monitoraggio, non è emersa alcuna differenza significativa fra i siti in termini di distribuzione degli analiti.

#### 4.6 Monitoraggio dei metalli pesanti nella *lemna minor*



Figura 52. Campione di *lemna minor*

Nel presente capitolo viene effettuata un'elaborazione statistica dei dati riguardanti l'analisi di metalli in campioni di lenticchia d'acqua (*Lemna minor*) condotta nel quadro del programma di biomonitoraggio degli impatti ambientali dell'impianto di termovalorizzazione di Melfi (PZ).

Nel periodo 2015-2020 sono stati prelevati un totale di 109 campioni di *Lemna minor* con cadenza trimestrale dai cinque siti di monitoraggio di Rendina, Bizzarro, Favullo, Lamiola e Lavello. Ad ogni trimestre è stato analizzato anche un bianco, costituito da un esemplare della stessa pianta, proveniente dal medesimo produttore e fornito insieme agli esemplari esposti in parallelo nei diversi siti.

#### Trattamento dei dati

I dati relativi ai 109 campioni e ai 23 bianchi analizzati sono riportati in tabella 39, dove i valori inferiori ai limiti di quantificazione (LOQ), evidenziati in rosso, sono stati trattati secondo il criterio "medium-bound", cioè posti uguali alla metà dei rispettivi LOQ.

Sito	Anno	Trimestre	Alluminio	Arsenico	Boro	Bario	Berillio	Cadmio	Cobalto	Cromo	Rame	Ferro	Manganese	Nichel	Piombo	Antimonio	Tallio	Vanadio	Zinco
			mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Bianco	2015	I	2937,125	7,418	310,529	170,793	0,144	0,401	28,920	14,056	21,221	8972,558	8733,795	31,511	10,563	0,193	0,091	10,132	85,103
Stabilimento	2015	I	547,387	5,353	128,347	51,467	0,036	0,314	7,192	2,700	23,754	2486,468	2226,499	8,785	3,595	0,103	0,033	7,929	192,556
Lamiola	2015	I	715,601	3,846	239,027	97,479	0,045	0,246	11,474	2,621	14,098	3984,450	4213,136	11,521	4,099	0,137	0,057	7,507	194,128
Bizzarro	2015	I	912,751	16,702	253,008	101,491	0,054	0,431	11,908	4,459	24,456	4691,281	2939,322	12,351	6,142	0,167	0,063	1,154	392,336
Lavello	2015	I	290,304	2,011	160,055	43,273	0,023	0,394	4,791	0,829	7,725	1833,766	1636,606	6,746	2,525	0,107	0,033	17,514	117,575
Favullo	2015	I	428,053	6,332	177,100	94,647	0,037	0,323	7,167	1,364	10,267	2685,950	2706,079	10,023	3,726	0,118	0,029	6,673	109,943
Bianco	2015	II	149,901	3,530	166,095	54,076	0,011	0,062	17,300	0,102	4,322	1793,301	4606,983	6,545	1,066	0,050	0,012	8,746	19,545
Bizzarro	2015	II	79,199	9,139	131,836	46,987	0,008	0,086	2,815	0,656	3,516	270,434	856,086	2,468	0,661	0,050	0,019	5,879	125,718
Lavello	2015	II	50,370	13,533	105,284	27,162	0,003	0,079	2,962	0,737	5,271	297,159	898,632	2,198	1,075	0,050	0,024	8,446	164,171
Favullo	2015	II	72,395	8,788	86,655	30,323	0,012	0,087	2,690	0,570	4,785	504,198	960,538	2,878	1,078	0,050	0,025	7,280	108,685
Stabilimento	2015	II	129,534	16,779	140,678	54,741	0,019	0,108	3,465	0,390	10,737	371,036	1491,902	3,253	1,829	0,050	0,046	6,294	245,711
Bianco	2015	III	174,144	11,543	1080,327	115,993	0,026	0,058	19,551	1,979	3,770	8855,773	6549,706	6,320	1,361	0,132	0,032	1,756	31,049
Lamiola	2015	III	126,261	1,213	282,540	67,942	0,009	0,053	3,923	0,421	4,916	353,272	1439,491	4,058	0,266	0,134	0,270	0,898	111,181
Bizzarro	2015	III	209,874	1,615	367,050	45,274	0,024	0,049	4,354	0,999	13,113	1730,445	936,957	3,876	1,582	0,111	0,070	2,753	69,834
Lavello	2015	III	199,582	2,558	612,100	69,598	0,030	0,069	6,471	1,240	11,448	2573,320	2243,949	4,431	1,731	0,117	0,135	2,567	130,886
Favullo	2015	III	514,698	1,758	776,233	123,293	0,032	0,041	4,342	1,165	6,407	2438,685	1802,434	6,407	1,898	0,050	0,037	4,802	138,545
Stabilimento	2015	III	615,738	2,485	684,646	83,355	0,049	0,060	6,616	2,427	17,524	3202,200	2311,277	5,746	4,754	0,118	0,046	8,000	185,584
Bianco	2015	IV	581,598	5,721	760,716	58,636	0,042	0,103	16,431	3,878	8,225	6640,008	5075,868	14,763	2,529	0,152	0,029	3,087	47,869
Bizzarro	2015	IV	440,026	3,193	775,900	74,790	0,037	0,196	10,669	3,246	15,122	2897,397	3219,195	16,629	2,144	0,141	0,086	2,522	281,853
Stabilimento	2015	IV	255,979	3,591	731,518	46,760	0,024	0,203	9,034	2,239	7,496	2786,785	2701,067	12,455	2,333	0,146	0,053	2,122	122,884
Lamiola	2015	IV	174,392	1,664	674,387	69,136	0,016	0,183	8,114	1,794	5,406	1207,809	2211,396	9,062	1,333	0,135	0,163	1,447	106,107

Favullo	2015	IV	289,611	2,057	623,723	50,408	0,023	0,201	7,736	2,152	6,286	2216,270	2063,096	8,939	2,006	0,129	0,073	2,375	125,431
Lavello	2015	IV	153,920	1,365	588,723	31,696	0,016	0,125	5,600	1,562	6,394	1026,102	1270,772	7,840	1,152	0,114	0,039	0,957	87,321
Lamiola	2016	I	149,902	1,667	414,911	74,920	0,045	0,160	6,432	1,098	9,513	4258,672	1214,972	4,575	3,420	0,113	0,132	1,934	155,499
Bianco	2016	I	203,809	1,248	526,688	129,672	0,087	0,066	8,379	2,162	21,405	10066,896	1528,938	5,838	2,116	0,124	0,045	2,532	84,110
Favullo	2016	I	147,893	1,125	417,342	108,633	0,047	0,130	6,724	1,274	10,310	5712,663	1591,784	3,914	3,538	0,126	0,032	2,036	119,949
Lavello	2016	I	117,559	1,019	428,829	62,067	0,040	0,134	4,332	1,144	10,646	4231,621	860,698	3,971	3,249	0,119	0,042	1,360	116,630
Bizzarro	2016	I	1289,719	2,707	660,857	144,382	0,170	0,200	9,696	3,596	17,131	8072,276	1948,940	9,349	5,767	0,173	0,108	5,592	259,917
Stabilimento	2016	I	115,804	0,720	417,000	31,452	0,020	0,193	4,033	0,697	7,249	1959,374	885,323	6,085	2,572	0,155	0,055	0,956	116,313
Bianco	2016	II	178,681	0,843	410,934	72,282	0,035	0,324	4,951	1,402	29,357	3154,350	616,733	5,847	4,396	0,050	0,032	2,589	207,773
Bizzarro	2016	II	73,337	0,688	188,611	61,645	0,017	0,138	3,666	0,409	10,837	1092,252	1085,668	3,160	2,137	0,050	0,032	1,632	211,008
Favullo	2016	II	48,291	0,784	216,919	75,666	0,015	0,157	4,137	0,304	5,863	1745,722	1339,465	3,590	4,135	0,137	0,018	1,327	95,525
Lavello	2016	II	50,297	0,330	148,116	50,960	0,011	0,085	1,586	0,248	4,533	1155,291	1055,267	1,847	2,323	0,111	0,017	0,878	60,607
Stabilimento	2016	II	48,291	0,784	216,919	75,666	0,015	0,157	4,137	0,304	5,863	1745,722	1339,465	3,590	4,135	0,137	0,018	1,327	95,525
Bianco	2016	III	408,468	1,174	652,045	14,460	0,019	0,071	1,727	6,534	34,605	794,938	360,033	9,211	1,821	0,050	0,008	1,339	76,279
Bizzarro	2016	III	149,089	0,429	441,232	23,777	0,014	0,235	0,930	1,501	6,347	147,302	224,399	2,358	2,115	0,214	0,095	2,032	140,034
Lamiola	2016	III	768,689	0,945	640,221	58,049	0,049	0,349	1,484	3,531	10,124	650,058	847,604	4,778	5,898	0,224	0,189	2,895	219,954
Favullo	2016	III	648,191	0,700	461,966	45,732	0,043	0,275	0,424	2,831	12,753	463,509	118,296	3,343	4,949	0,123	0,042	4,725	222,450
Lavello	2016	III	269,760	0,312	363,061	15,090	0,015	0,257	0,419	1,759	12,174	214,680	190,454	2,282	2,963	0,136	0,087	0,968	172,088
Stabilimento	2016	III	277,540	0,519	399,222	41,291	0,016	0,197	0,362	1,887	5,719	220,189	122,342	2,728	3,001	0,216	0,038	1,998	116,583
Bianco	2016	IV	297,352	2,293	782,331	36,607	0,037	0,305	8,723	22,400	16,702	1399,298	2196,520	33,021	1,461	0,238	0,013	1,641	131,259
Bizzarro	2016	IV	169,071	1,295	495,394	59,049	0,029	0,264	8,487	10,843	8,273	1002,660	2793,323	19,569	6,607	0,126	0,020	2,161	165,070
Lamiola	2016	IV	106,295	0,865	410,946	45,725	0,013	0,195	5,436	7,858	7,360	627,140	1656,679	17,536	0,966	0,050	0,047	0,978	122,296
Favullo	2016	IV	225,231	2,115	591,570	56,456	0,024	0,298	6,836	12,061	12,624	936,425	1781,432	27,663	1,778	0,125	0,018	4,159	242,881
Lavello	2016	IV	214,137	1,042	524,071	30,498	0,024	0,238	5,738	12,923	9,492	1013,258	1547,329	20,531	1,431	0,050	0,018	1,004	90,626
Stabilimento	2016	IV	407,378	1,521	514,987	42,916	0,037	0,267	6,332	15,252	14,839	1310,480	1845,993	21,458	2,625	0,184	0,022	3,933	177,771
Bianco	2017	I	450,311	2,194	798,858	59,220	0,034	0,629	9,064	20,308	47,341	2125,502	2772,819	38,317	2,910	0,235	0,026	2,838	204,461

Bizzarro	2017	I	594,151	1,938	707,769	86,565	0,037	0,444	5,884	9,985	22,266	1496,407	2418,070	11,639	2,565	0,317	0,024	3,587	188,644
Lamiola	2017	I	247,880	0,799	541,300	68,038	0,013	0,430	2,229	2,874	10,167	775,064	846,490	9,017	2,923	0,140	0,045	1,245	235,152
Lavello	2017	I	271,390	0,850	657,907	43,094	0,020	0,458	4,653	9,316	17,429	1121,898	1097,460	18,783	3,148	0,151	0,031	1,262	257,053
Favullo	2017	I	660,231	2,748	815,771	106,604	0,046	0,459	5,720	9,870	21,915	1481,019	2025,775	20,567	2,862	0,205	0,049	6,998	208,609
Stabilimento	2017	I	366,450	1,649	761,903	96,028	0,026	0,490	5,507	8,763	17,876	1763,055	1731,551	18,406	5,346	0,298	0,038	2,991	233,477
Bianco	2017	II	103,606	0,344	1391,477	80,509	0,015	0,388	1,835	5,022	11,086	323,847	643,115	6,169	3,334	0,050	0,027	0,514	251,485
Favullo	2017	II	5527,230	4,686	510,317	224,299	0,467	0,733	4,625	15,554	64,411	4419,030	1071,931	19,134	20,210	0,264	0,255	22,450	465,625
Lavello	2017	II	508,531	0,663	328,561	96,987	0,032	0,244	1,063	4,555	13,545	486,724	189,022	6,552	4,095	0,361	0,049	1,889	124,747
Lamiola	2017	II	275,321	1,018	934,625	128,305	0,027	0,367	3,230	2,799	8,667	402,556	2117,179	5,189	6,663	0,464	0,678	1,708	208,100
Stabilimento	2017	II	797,548	1,495	437,546	145,849	0,067	0,519	2,003	10,588	18,015	963,071	853,738	10,180	14,924	0,369	0,174	4,708	281,553
Bianco	2017	IV	382,472	1,122	172,303	44,884	0,020	0,301	1,803	2,045	10,541	1063,695	263,189	5,841	6,129	0,574	0,129	2,327	187,393
Bizzarro	2017	IV	418,596	5,501	426,901	134,048	0,042	0,212	13,163	3,763	20,294	5098,995	1805,631	9,078	5,500	0,365	0,223	5,363	179,886
Lamiola	2017	IV	214,212	4,650	238,777	100,115	0,021	0,184	11,616	3,047	10,820	5074,423	1420,210	8,464	4,063	0,208	0,091	3,431	134,877
Lavello	2017	IV	199,652	2,347	195,040	58,876	0,012	0,178	6,783	2,051	10,009	2556,837	698,473	5,806	4,018	0,217	0,089	3,325	121,562
Favullo	2017	IV	168,339	2,427	143,702	47,436	0,019	0,140	7,580	2,134	10,848	2695,407	732,942	4,796	3,053	0,120	0,070	3,492	88,150
Stabilimento	2017	IV	72,144	1,608	151,556	35,692	0,006	0,133	6,784	1,844	8,256	1750,520	543,646	4,543	2,437	0,143	0,085	2,239	93,021
Bianco	2018	I	282,368	3,414	348,951	91,934	0,058	0,367	7,140	3,002	212,338	2496,674	366,529	9,191	13,321	4,685	0,136	5,046	269,022
Bizzarro	2018	I	148,746	1,549	363,615	37,417	0,015	0,231	2,028	0,698	75,948	633,200	136,768	3,738	3,502	0,138	0,220	2,469	320,127
Favullo	2018	I	646,868	1,638	197,283	51,968	0,065	0,298	3,176	1,987	61,126	1427,556	318,408	5,783	5,954	0,245	0,208	3,885	247,003
Lavello	2018	I	615,375	1,908	233,331	81,098	0,052	0,340	4,322	2,828	71,621	2308,323	263,630	6,430	9,394	0,222	0,088	4,535	334,317
Lamiola	2018	I	100,123	1,410	132,883	66,060	0,020	0,198	2,783	1,048	44,110	827,848	341,761	6,047	3,759	0,112	0,185	1,951	111,348
Stabilimento	2018	I	159,945	1,178	170,271	33,691	0,014	0,284	2,037	1,227	48,490	844,439	159,103	4,161	5,784	0,282	0,138	2,458	202,186
Bianco	2018	II	604,534	9,302	335,530	136,135	0,047	0,612	14,829	4,573	19,188	4241,198	2402,651	22,496	11,037	0,270	0,054	4,837	313,586
Bizzarro	2018	II	2663,601	5,266	294,778	136,176	0,265	0,420	8,944	9,498	31,142	4040,491	142,841	19,211	13,619	0,240	0,106	9,710	403,665
Lamiola	2018	II	406,058	2,918	240,185	216,817	0,070	0,437	8,677	2,191	15,040	1096,721	219,969	13,193	7,294	0,206	0,135	4,097	206,031
Stabilimento	2018	II	99,574	1,259	222,912	148,802	0,018	0,250	9,485	1,353	4,970	500,001	296,524	28,737	3,791	0,521	0,118	1,338	88,575

Bianco	2018	III	672,955	12,682	339,920	153,099	0,077	0,592	17,092	5,844	13,552	17077,983	3043,409	22,596	8,813	0,301	0,091	4,906	329,787
Bizzarro	2018	III	888,468	5,214	304,898	167,938	0,085	0,231	8,159	4,218	12,033	10480,003	1419,237	11,793	4,800	0,209	0,054	10,834	339,461
Lamiola	2018	III	129,055	2,685	134,303	98,100	0,038	0,311	8,002	1,124	6,431	4960,281	1947,634	11,319	4,339	0,267	0,059	3,372	141,239
Lavello	2018	III	2786,645	3,586	227,739	238,445	0,280	0,436	10,041	7,358	35,246	9925,987	1513,234	17,700	21,333	0,389	0,129	15,023	603,319
Favullo	2018	III	4463,234	5,144	94,470	146,357	0,583	0,442	11,172	10,350	52,619	10645,990	1588,778	23,055	25,851	0,467	0,211	17,536	517,703
Stabilimento	2018	III	101,382	3,637	192,451	89,711	0,025	0,233	8,379	1,049	6,045	6827,297	1886,669	14,778	4,518	0,496	0,051	4,342	136,788
Bianco	2018	IV	251,286	5,463	610,638	221,376	0,075	0,330	3,317	0,847	16,878	7891,913	3609,149	7,057	4,252	0,181	0,050	5,824	285,572
Bizzarro	2018	IV	79,902	2,227	353,290	70,896	0,027	0,127	1,703	0,384	10,761	2420,834	1563,802	2,357	1,525	0,102	0,061	3,013	129,269
Lamiola	2018	IV	114,565	2,547	404,629	87,952	0,030	0,095	1,487	0,924	8,571	2672,032	1646,295	3,151	0,897	0,145	0,118	4,511	74,450
Lavello	2018	IV	61,167	2,638	385,394	88,953	0,027	0,162	1,809	0,466	11,176	2971,299	2022,125	2,851	1,787	0,127	0,104	3,553	182,713
Favullo	2018	IV	57,361	3,406	305,013	95,912	0,026	0,120	2,985	0,619	6,890	3271,239	1650,019	6,858	1,802	0,144	0,033	3,282	107,834
Stabilimento	2018	IV	95,351	2,634	285,191	59,105	0,026	0,134	2,024	0,618	11,071	1529,491	1152,248	3,747	1,198	0,162	0,146	2,933	344,941
Bianco	2019	I	636,645	5,186	688,290	242,702	0,098	0,050	2,434	1,817	8,863	6774,034	4937,277	3,160	1,149	0,112	0,042	6,214	43,708
Bizzarro	2019	I	68,319	1,474	258,431	98,607	0,018	0,056	3,521	0,462	5,030	1872,076	2228,919	3,017	0,424	0,120	0,058	1,984	123,461
Lamiola	2019	I	151,819	2,586	403,563	155,743	0,035	0,044	4,065	0,763	4,048	3854,490	3197,147	3,197	0,550	0,110	0,046	3,893	44,136
Favullo	2019	I	32,754	1,529	321,751	64,488	0,014	0,067	1,293	0,409	5,984	1204,583	1559,327	2,205	0,419	0,050	0,058	1,583	86,583
Lavello	2019	I	31,159	1,237	349,247	51,456	0,008	0,055	1,740	0,364	6,613	1263,725	1739,091	1,704	0,465	0,050	0,032	1,208	78,928
Stabilimento	2019	I	30,087	1,666	330,435	81,222	0,007	0,045	1,781	0,525	2,939	1323,490	1898,341	3,263	0,549	0,050	0,019	1,430	45,332
Bianco	2019	II	53,237	1,522	707,858	28,797	0,015	0,403	1,454	0,393	11,737	959,653	454,788	1,671	4,342	0,050	0,040	1,853	178,961
Lamiola	2019	II	80,118	1,135	494,395	35,470	0,016	0,282	1,006	0,729	9,324	992,814	406,810	2,935	3,907	0,117	0,072	1,953	205,678
Bizzarro	2019	II	228,469	1,554	544,727	57,768	0,041	0,341	3,637	0,995	8,716	1561,272	746,762	5,375	3,789	0,202	0,034	3,653	222,736
Favullo	2019	II	68,917	1,147	420,630	38,784	0,017	0,173	1,079	0,342	3,846	1551,958	695,725	2,270	1,938	0,164	0,042	1,851	125,259
Lavello	2019	II	41,924	0,860	424,756	34,829	0,009	0,284	1,575	0,348	6,930	970,538	669,111	1,901	3,314	0,050	0,038	1,367	178,613
Stabilimento	2019	II	83,947	1,651	587,016	52,621	0,026	0,218	1,807	1,194	4,369	2690,209	860,228	3,660	2,825	0,169	0,025	1,841	143,760
Bianco	2019	III	159,741	3,024	1049,015	68,318	0,051	0,208	1,460	0,572	19,352	3612,881	654,288	3,996	1,668	0,112	0,045	2,899	158,232
Lamiola	2019	III	1418,302	3,739	447,890	129,517	0,179	0,076	1,710	2,899	10,143	3557,283	917,047	7,551	2,790	0,107	0,051	15,021	94,359

Lavello	2019	III	46,400	1,158	425,816	81,306	0,019	0,050	0,429	0,311	4,734	1501,041	250,350	2,854	0,573	0,050	0,023	5,354	42,554
Bizzarro	2019	III	352,837	2,575	517,734	120,021	0,071	0,074	3,129	0,860	8,268	1783,965	989,684	6,688	1,373	0,138	0,168	5,387	57,476
Favullo	2019	III	2112,252	4,345	447,142	134,010	0,307	0,081	1,653	3,362	10,315	3849,176	515,684	6,915	3,408	0,147	0,077	15,970	54,512
Stabilimento	2019	III	26,715	0,856	249,994	51,195	0,012	0,045	0,298	0,260	2,875	636,173	100,438	2,617	0,502	0,118	0,025	2,658	28,916
Bianco	2019	IV	133,843	14,838	1404,255	548,515	0,085	0,635	1,435	0,378	15,400	20208,497	9571,330	42,072	2,899	0,380	0,036	2,708	220,051
Bizzarro	2019	IV	184,583	5,810	533,844	220,495	0,045	0,328	0,924	0,455	14,910	6112,379	2773,761	14,523	1,023	0,217	0,265	6,691	81,973
Lamiola	2019	IV	71,781	6,805	1032,767	308,549	0,041	0,117	0,562	0,588	6,900	9930,013	4242,191	21,530	0,585	0,364	0,083	1,783	47,591
Favullo	2019	IV	142,252	8,276	713,418	354,455	0,053	0,157	0,779	0,652	7,895	11041,901	4852,428	22,752	0,655	0,303	0,077	15,266	47,956
Lavello	2019	IV	70,764	8,964	917,552	439,604	0,050	0,113	0,974	0,337	4,813	14695,591	5667,447	29,192	0,670	0,293	0,043	6,457	49,713
Stabilimento	2019	IV	63,465	6,192	667,417	238,951	0,035	0,140	0,685	0,303	6,353	8269,458	4123,515	17,056	0,794	0,417	0,059	2,831	61,832
Bianco	2020	I	39,997	4,484	778,204	209,754	0,016	0,268	0,908	0,178	7,907	2873,896	5412,729	6,752	1,011	0,230	0,020	0,845	137,920
Lamiola	2020	I	96,960	3,096	175,952	129,712	0,030	0,343	1,542	0,360	6,234	745,601	1937,101	3,899	1,755	0,533	0,158	2,496	155,550
Lavello	2020	I	56,456	0,457	147,983	41,388	0,008	0,171	0,113	0,174	3,605	431,373	275,176	1,169	0,992	0,181	0,038	0,832	105,806
Favullo	2020	I	187,011	1,427	456,353	125,586	0,027	0,377	0,554	0,373	8,715	1147,621	1561,700	3,641	1,973	0,554	0,131	2,895	214,138
Stabilimento	2020	I	153,554	1,564	245,196	88,162	0,026	0,226	0,477	0,504	3,821	1709,231	3032,169	3,676	1,576	0,754	0,055	1,410	98,238
Bianco	2020	II	230,742	4,261	778,793	138,755	0,047	0,394	0,940	0,584	13,043	4745,334	1188,672	11,170	1,927	0,295	0,057	5,535	164,831
Bizzarro	2020	II	53,945	0,763	260,128	73,400	0,010	0,032	0,380	0,225	3,158	800,757	1262,277	3,146	0,573	0,050	0,056	4,043	39,924
Lamiola	2020	II	57,451	2,867	146,696	141,814	0,012	0,020	1,149	0,259	5,480	189,455	2432,083	4,508	0,153	0,162	0,021	2,077	38,277
Lavello	2020	II	36,083	0,532	124,454	60,932	0,003	0,019	0,137	0,137	2,338	262,343	474,373	1,168	0,190	0,050	0,020	2,108	24,828
Favullo	2020	II	41,142	0,823	135,577	101,246	0,014	0,021	0,331	0,183	3,006	782,108	1437,933	2,877	0,264	0,050	0,042	4,355	27,048
Stabilimento	2020	II	45,478	1,617	167,062	219,492	0,017	0,035	0,275	1,021	3,440	718,540	3882,082	2,774	0,535	0,176	0,009	1,379	39,137
Bianco	2020	III	158,399	2,826	910,726	135,622	0,050	0,206	0,976	0,364	6,692	5092,629	860,224	12,716	1,232	0,050	0,019	3,041	127,424
Lamiola	2020	III	4377,505	2,465	724,812	265,287	0,376	0,079	1,542	2,400	36,149	7040,838	1242,564	19,231	1,960	0,107	0,065	11,907	184,508
Bizzarro	2020	III	2699,648	2,326	630,150	164,412	0,219	0,080	0,773	4,289	19,024	5702,731	674,101	15,439	2,549	0,112	0,052	8,306	167,276
Favullo	2020	III	3152,712	2,031	456,649	197,612	0,274	0,041	0,704	3,225	9,221	3913,842	802,085	10,458	2,770	0,050	0,033	14,597	58,392
Lavello	2020	III	1342,135	2,384	620,200	188,317	0,129	0,032	0,345	1,816	4,274	4891,062	724,438	11,918	1,027	0,050	0,017	11,470	38,362

Stabilimento	2020	III	805,296	1,583	465,390	175,293	0,073	0,035	0,476	2,056	6,430	3489,767	1024,098	8,985	1,618	0,152	0,011	5,662	93,014
Bianco	2020	IV	108,660	5,126	1005,583	227,170	0,050	0,125	1,486	0,404	5,511	10613,581	2719,162	23,381	0,632	0,050	0,023	2,544	98,372
Lamiola	2020	IV	90,224	3,496	451,848	102,714	0,021	0,119	0,883	0,309	18,325	3994,602	1225,126	12,719	0,727	0,142	0,117	5,240	131,021
Bizzarro	2020	IV	134,164	2,828	627,485	109,025	0,037	0,139	1,063	0,618	10,892	4306,312	1160,327	11,340	1,334	0,182	0,198	4,098	144,940
Lavello	2020	IV	131,148	1,795	458,204	96,995	0,025	0,079	0,523	0,306	4,398	4382,941	822,009	10,002	0,763	0,050	0,027	2,515	72,225
Favullo	2020	IV	78,617	1,414	444,959	106,101	0,019	0,037	0,510	0,262	4,874	4014,233	698,206	9,387	0,632	0,141	0,064	1,240	32,282
Stabilimento	2020	IV	96,662	4,918	780,772	194,841	0,041	0,107	0,923	0,394	4,572	8921,099	2424,352	20,013	1,008	0,314	0,025	3,371	63,277

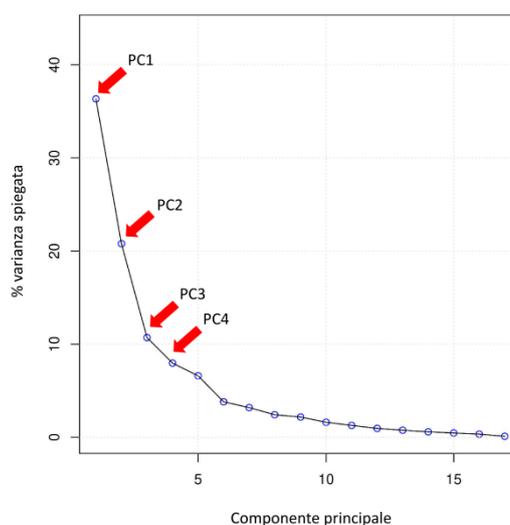
**Tabella 39.** Dati relativi ai metalli, all'antimonio, all'arsenico e al boro nei 23 bianchi e nei 109 campioni di *Lemna minor* prelevati nei siti di monitoraggio di Rendina (Stabilimento), Bizzarro, Favullo, Lamiola e Lavello nel periodo 2015-2020. In rosso sono evidenziati i valori inferiori ai limiti di quantificazione, trattati secondo il criterio medium-bound.

Ai fini dell'elaborazione statistica qui presentata sono stati presi in considerazione i dati relativi al solo quinquennio 2016-2020, per gli stessi motivi indicati nel caso dell'analisi delle precedenti matrici già discusse nei paragrafi precedenti.

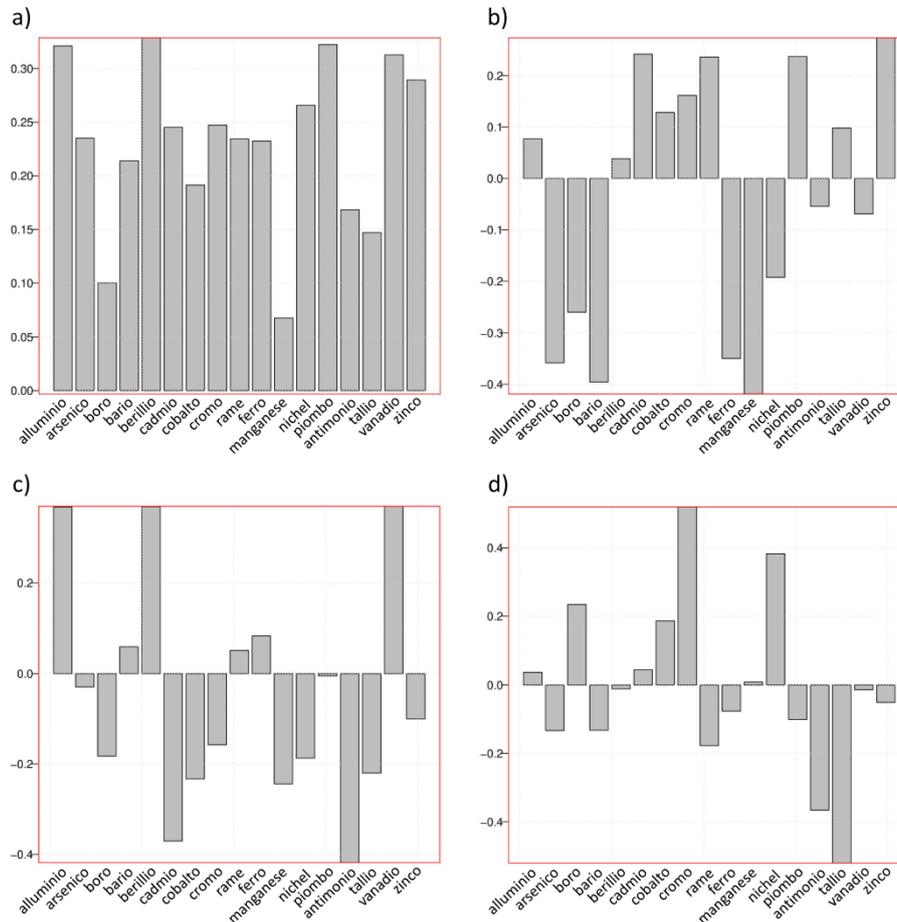
### Risultati e discussione

La distribuzione della varianza tra le componenti principali (figura 53) vede una netta predominanza delle componenti PC1 e PC2, che insieme assommano a circa il 60% della varianza. Le due componenti successive, PC3 e PC4, descrivono un ulteriore 20%.

Esaminando i contributi delle variabili a queste quattro componenti principali (figura 54), si può osservare che la componente PC1 riceve contributi significativi (con l'eccezione di manganese e boro) e concordi dalla maggior parte delle variabili. I contributi relativi alle altre tre componenti sono invece concentrati maggiormente su alcune variabili: nella componente PC2 risultano prevalenti i contributi (di segno negativo) delle variabili arsenico, bario, ferro e soprattutto manganese. La componente PC3 riceve contributi di segno positivo da alluminio, berillio e vanadio, e contributi di segno negativo da cadmio e antimonio. Infine, la componente PC4 è caratterizzata positivamente soprattutto da cromo e nichel e negativamente da tallio e antimonio.



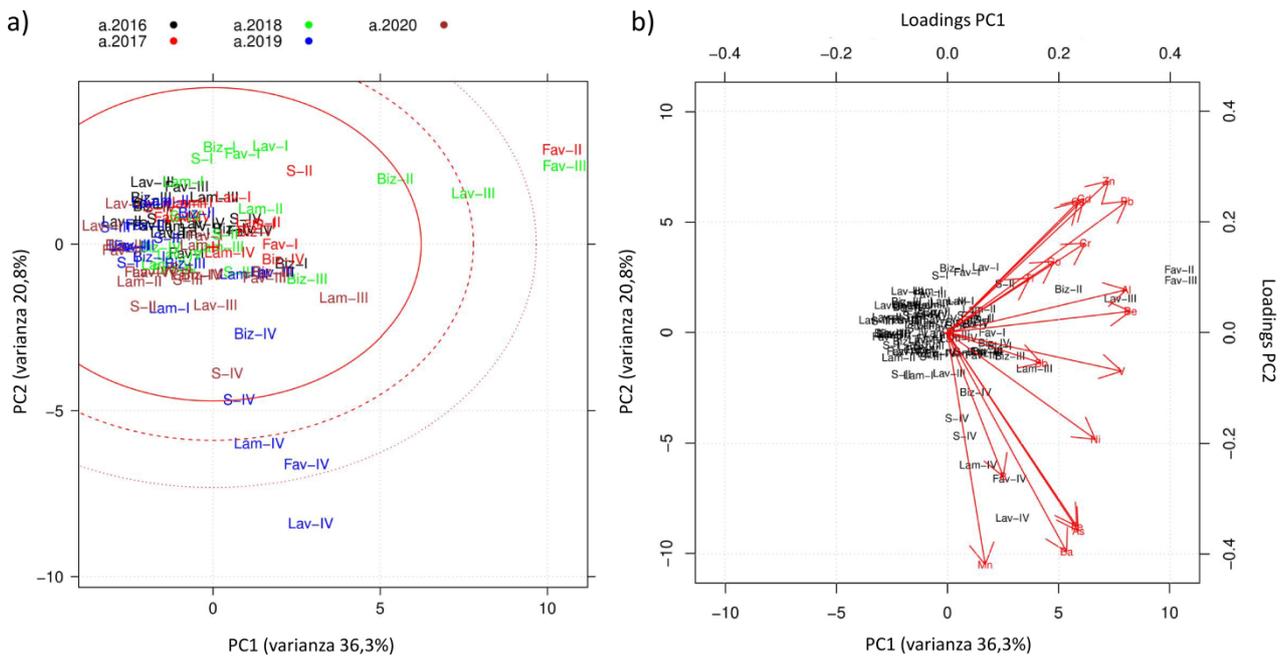
**Figura 53.** Percentuale di varianza associata alle componenti principali, con evidenziazione delle quattro componenti più significative



**Figura 54.** Loadings delle prime quattro componenti principali: a) PC1; b) PC2; c) PC3; d) PC4. I loadings, rappresentati sull'asse verticale dei grafici, sono i coefficienti numerici normalizzati (cioè con somma quadratica pari a 1 e valori compresi tra 1 e -1) che descrivono il contributo delle variabili originali alla determinazione delle componenti principali. Quanto più i valori sono vicini a 1 o a -1, tanto maggiori sono quindi i contributi delle rispettive variabili.

La rappresentazione dei dati nel piano delle componenti PC1/PC2 (figura 55) mostra che un numero non trascurabile di campioni presenta scostamenti significativi dalla media. Si tratta sostanzialmente di due gruppi di campioni. Il primo gruppo, costituito da campioni del secondo e terzo trimestre dell'anno 2018 (figura 55a), presenta uno scostamento significativo lungo la componente PC1 ed è caratterizzato da valori relativamente elevati della maggior parte delle variabili, in particolare di alluminio, berillio, piombo e zinco, come indica la direzione delle frecce che rappresentano l'orientamento delle variabili nel piano delle componenti principali (figura 55b); la varianza della componente PC1 è dominata dai valori anomali di questi campioni. Il

secondo gruppo, costituito da campioni del quarto trimestre dell'anno 2019 (figura 55a), si discosta principalmente lungo la componente PC2 ed è caratterizzato da valori elevati soprattutto delle variabili manganese, bario, arsenico, boro e ferro (figura 55b).



**Figura 55.** a) Rappresentazione grafica dei dati nel piano individuato dalle componenti principali PC1 e PC2 (score-plot). L'origine degli assi rappresenta il vettore delle medie dei dati. I dati sono caratterizzati da una sigla in cui la parte letterale indica la stazione di monitoraggio (S=stabilimento di Rendina; Biz=Bizzarro; Fav=Favullo; Lam=Lamiola; Lav=Lavello) e il numerale romano il trimestre dell'anno solare (I, II, III, IV) in cui è stato effettuato il campionamento, mentre il colore indica l'anno solare, come illustrato dalla didascalia interna. Le ellissi presenti nel grafico e marcate con linee rosse piene e tratteggiate delimitano, dall'interno verso l'esterno, le aree corrispondenti ai livelli di confidenza del 95%, 99% e 99,9% nella distribuzione  $T^2$  della varianza. b) Rappresentazione grafica simultanea dei dati e delle variabili analitiche nel piano delle componenti principali PC1 e PC2 (bi-plot). I loadings sono i coefficienti numerici normalizzati che descrivono il contributo delle variabili originali alla determinazione delle componenti principali.

L'ingrandimento della zona centrale del grafico in figura 55a (figura 56) e la rappresentazione dei dati nel piano delle componenti PC3/PC4 (figura 57), caratterizzate da una minore varianza, permettono di rilevare alcune similitudini che emergono nell'insieme dei campioni. Non appare alcun ordinamento dei dati dal punto di vista dei siti di monitoraggio, mentre si possono osservare aggregazioni di dati appartenenti allo stesso trimestre o anche a trimestri vicini, il che potrebbe indicare una dipendenza dei valori da fattori stagionali: ad esempio, in figura 56 si notano i gruppi formati dai campioni del I trimestre 2018, quelli del III trimestre 2016 e quelli del IV trimestre

2018. In figura 57 spiccano di nuovo i campioni del I trimestre 2018 e l'insieme abbastanza ben distinto formato dai campioni del IV trimestre 2016 e da quelli del I trimestre 2017, temporalmente contigui.

L'ipotesi di un andamento dei valori delle componenti principali dovuto a fattori ambientali legati alle condizioni stagionali dell'esposizione è stata esaminata confrontando i dati medi dei campioni e quelli dei rispettivi bianchi per mese progressivo di campionamento. I grafici che illustrano questi andamenti per le quattro componenti principali fin qui studiate (figura 58) mostrano chiaramente che esiste una periodicità delle variabili su base stagionale, ma che essa riguarda in modo sostanzialmente congruente sia i campioni che i bianchi. I bianchi presentano addirittura valori tendenzialmente più elevati dei campioni, fatto che meriterebbe di essere approfondito, ma, per gli scopi di questa relazione, dimostra la sostanziale indipendenza degli andamenti osservati rispetto all'influssi dell'ambiente in cui è stato condotto il monitoraggio.

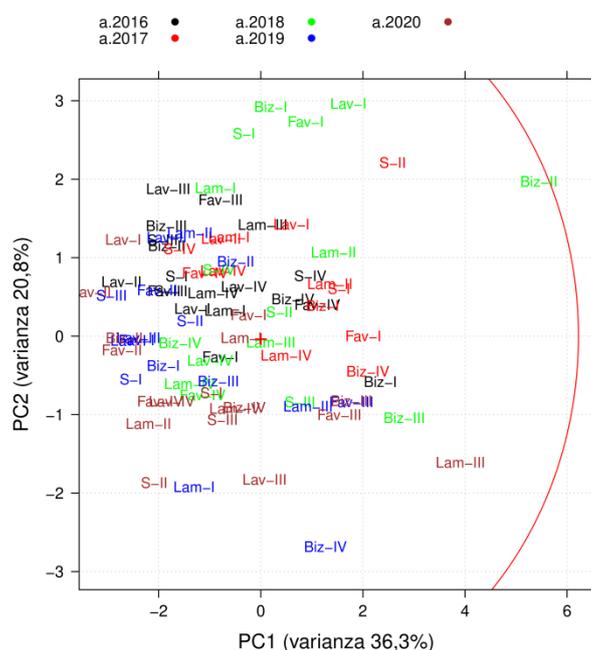
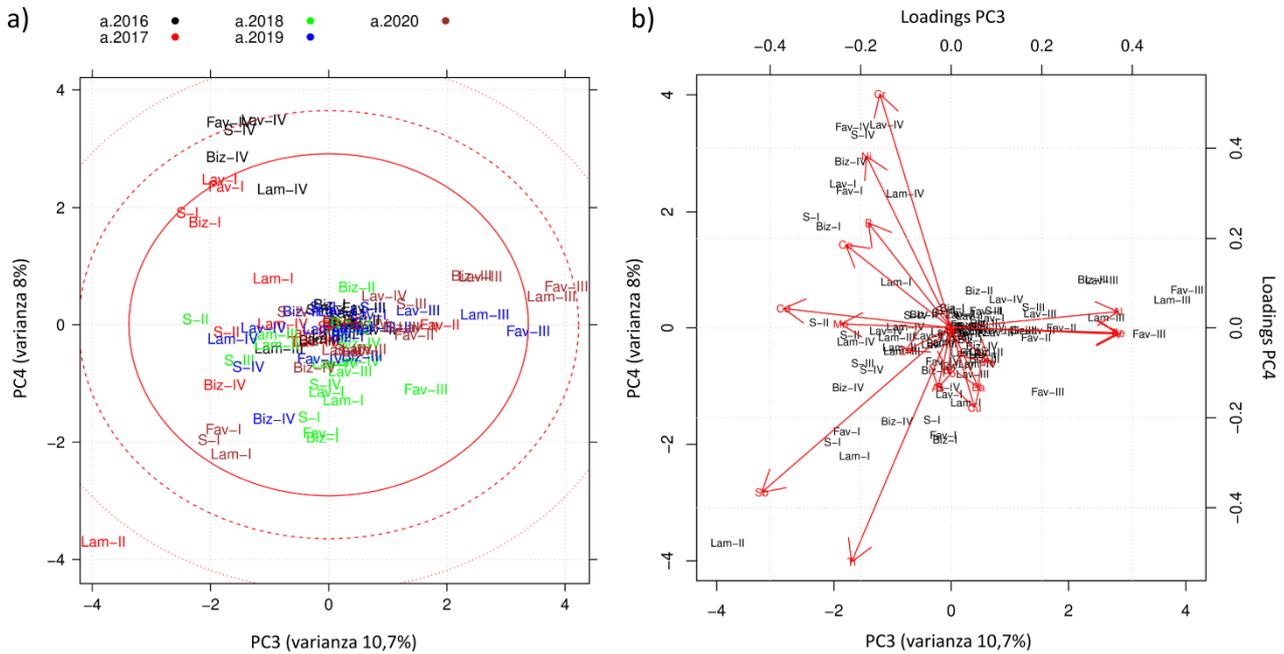
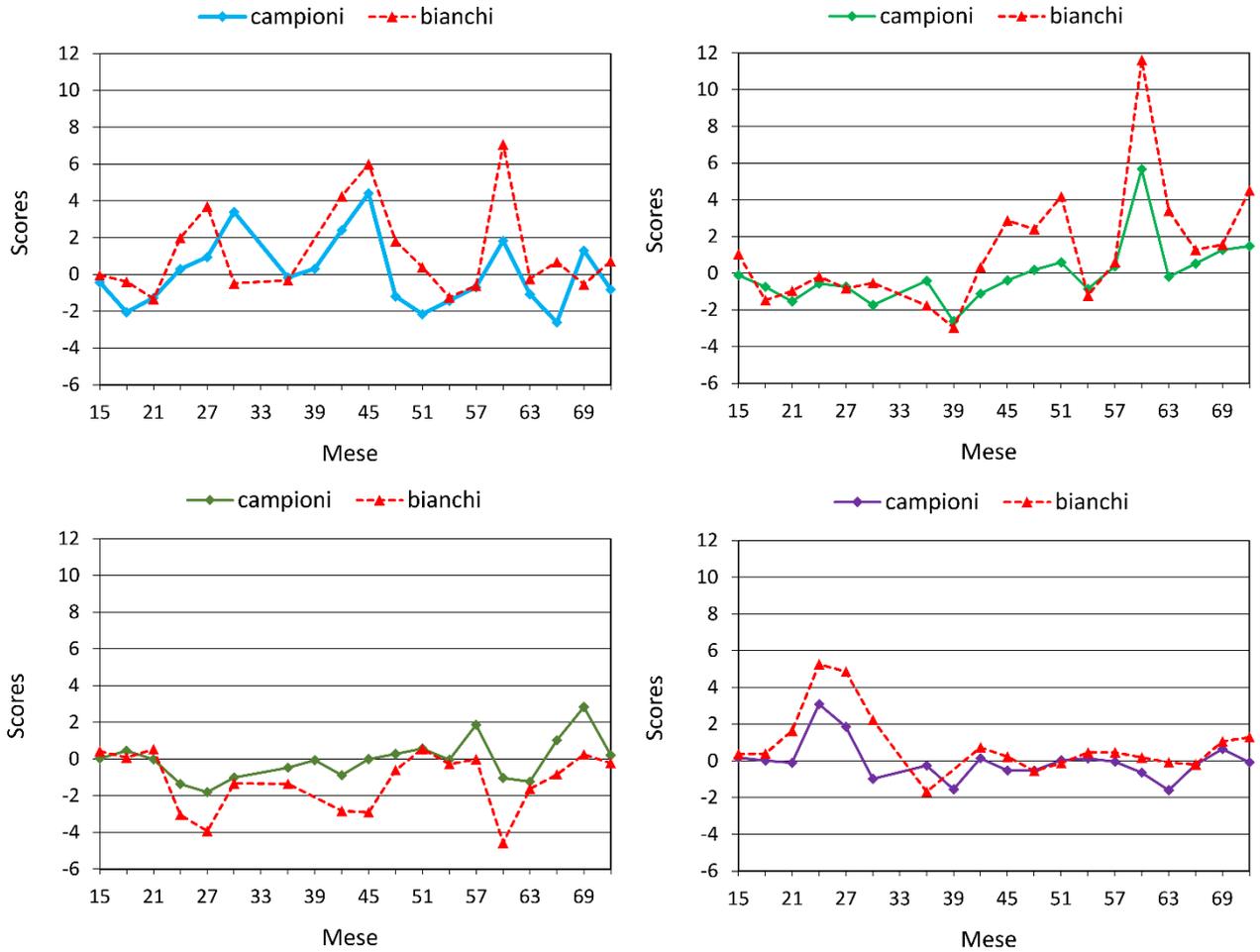


Figura 56. Dettaglio della figura 55a

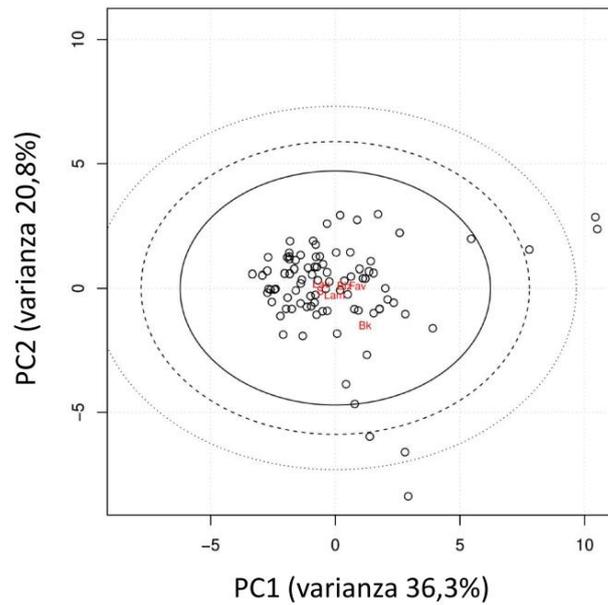


**Figura 57.** a) Rappresentazione grafica dei dati nel piano individuato dalle componenti principali PC3 e PC4 (score-plot). L'origine degli assi rappresenta il vettore delle medie dei dati. I dati sono caratterizzati da una sigla in cui la parte letterale indica la stazione di monitoraggio (S=stabilimento di Rendina; Biz=Bizzarro; Fav=Favullo; Lam=Lamiola; Lav=Lavello) e il numerale romano il trimestre dell'anno solare (I, II, III, IV) in cui è stato effettuato il campionamento, mentre il colore indica l'anno solare, come illustrato dalla didascalia interna. Le ellissi presenti nel grafico e marcate con linee rosse piene e tratteggiate delimitano, dall'interno verso l'esterno, le aree corrispondenti ai livelli di confidenza del 95%, 99% e 99,9% nella distribuzione  $T^2$  della varianza. b) Rappresentazione grafica simultanea dei dati e delle variabili analitiche nel piano delle componenti principali PC3 e PC4 (bi-plot). I loadings sono i coefficienti numerici normalizzati che descrivono il contributo delle variabili originali alla determinazione delle componenti principali.

Gli andamenti osservati in figura 58 riflettono infatti la variabilità delle caratteristiche intrinseche dei bianchi e quindi degli esemplari utilizzati per il monitoraggio piuttosto che rilevare gli effetti dell'esposizione ambientale. In relazione a queste caratteristiche e alla loro variabilità, l'esposizione ambientale sembra avere piuttosto un'azione "livellante", come risulta dalla rappresentazione delle medie degli stessi bianchi e dei campioni divisi per sito (figura 59). Il confronto tra campioni e bianchi in figura 59 indica che la differenza tra la media dei bianchi e le medie dei siti, sia nella componente PC1 che in quella PC2, è maggiore delle differenze tra le medie dei siti. Nei bianchi si rilevano valori più alti in media del 60% di tutti gli analiti eccetto alluminio, berillio, tallio e vanadio. Tra i siti, quello di Favullo risulta caratterizzato da un valore di PC1 leggermente più alto rispetto alle altre località, dovuto a concentrazioni più alte in media del 50% degli analiti alluminio, berillio, cromo, piombo e vanadio.



**Figura 58.** Rappresentazione delle medie per mese di campionamento dei valori (scores) delle componenti principali dei campioni e dei bianchi nel periodo 2016-2020: a) PC1; b) PC2; c) PC3; d) PC4. La numerazione progressiva dei mesi si intende a partire dall'1 gennaio 2015. Gli scores della componente PC2 sono stati cambiati di segno per tenere conto dei coefficienti negativi con cui le principali variabili contribuiscono alla sua determinazione.



**Figura 59.** Rappresentazione nel piano delle componenti principali PC1 e PC2 delle medie dei bianchi (Bk) e delle medie dei campioni divisi per sito. Per il significato delle sigle dei siti si rinvia alla legenda di figura 55.

### Conclusioni

L'analisi multivariata dei dati del monitoraggio dei metalli condotto nel periodo 2016-2020 su campioni di *Lemna minor* prelevati in cinque siti situati nei dintorni o in prossimità dell'impianto termovalorizzatore di Melfi (PZ) ha mostrato andamenti temporali sostanzialmente congruenti tra i dati relativi ai campioni e quelli relativi ai bianchi. Le tendenze osservate su base temporale riflettono le caratteristiche intrinseche dei campioni utilizzati nel monitoraggio piuttosto che gli effetti dell'esposizione ambientale. Non risultano differenze tra i siti di indagine né tendenze consolidate nel tempo che indichino un aumento dei valori dei parametri monitorati.

#### 4.7 Monitoraggio dei metalli pesanti nel latte ovino

In questo capitolo viene preso in considerazione lo studio della presenza dei metalli nei campioni di latte prelevati nell'ambito del piano di monitoraggio. Dal 2015 al 2020 sono stati prelevati e analizzati nove campioni di latte ovino provenienti da fattorie a conduzione familiare. Nel grafico di figura 60 vengono messe a confronto le rappresentazioni dei profili dei metalli analizzati nel latte ovino nel corso di questi anni di monitoraggio. Osservando il grafico si nota come il profilo rimane pressoché identico negli anni.

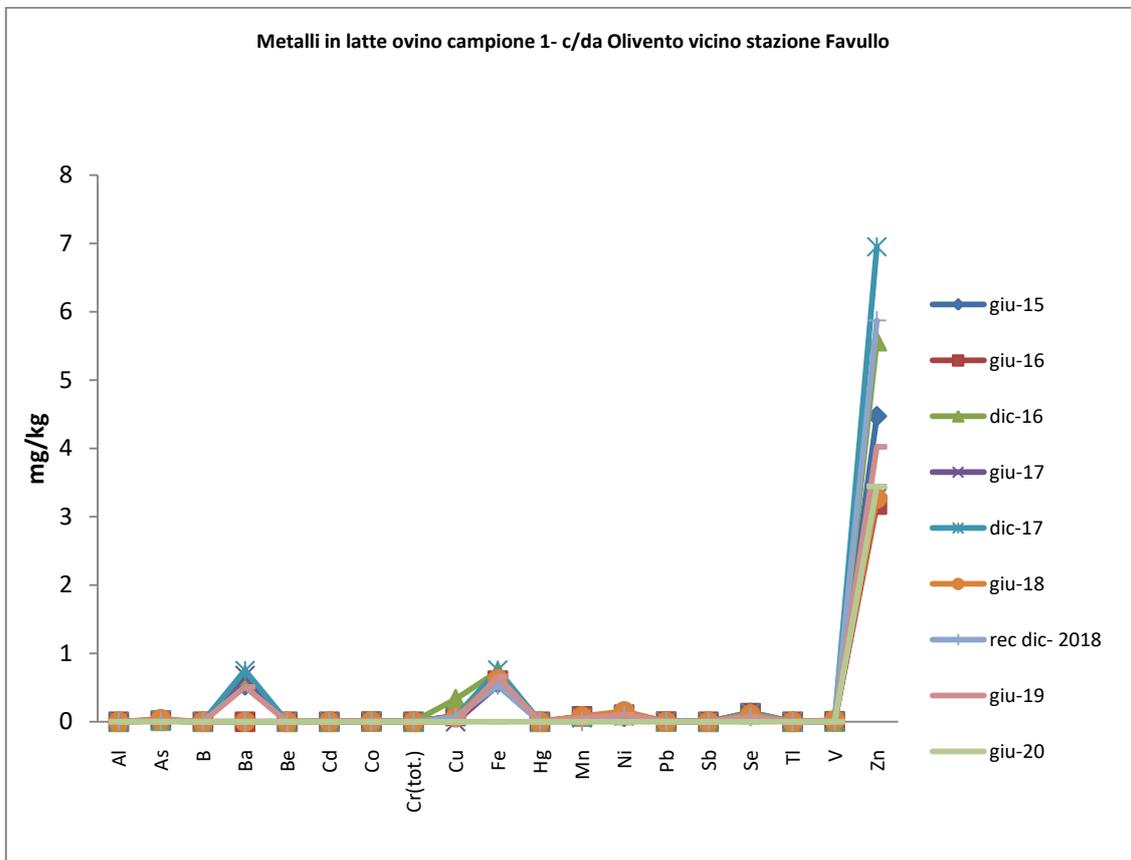


Figura 60. Profilo della concentrazione dei metalli nei campioni di latte ovino prelevati dal 2015 al 2020

Nel grafico a barre di figura 61 vengono invece mostrati i valori di concentrazione per tutti i campionamenti effettuati in questi anni di monitoraggio. Come si può notare non si sono mai trovati metalli tossici come arsenico, cadmio, piombo e mercurio, ma solo alcuni metalli naturalmente costituenti come lo zinco.

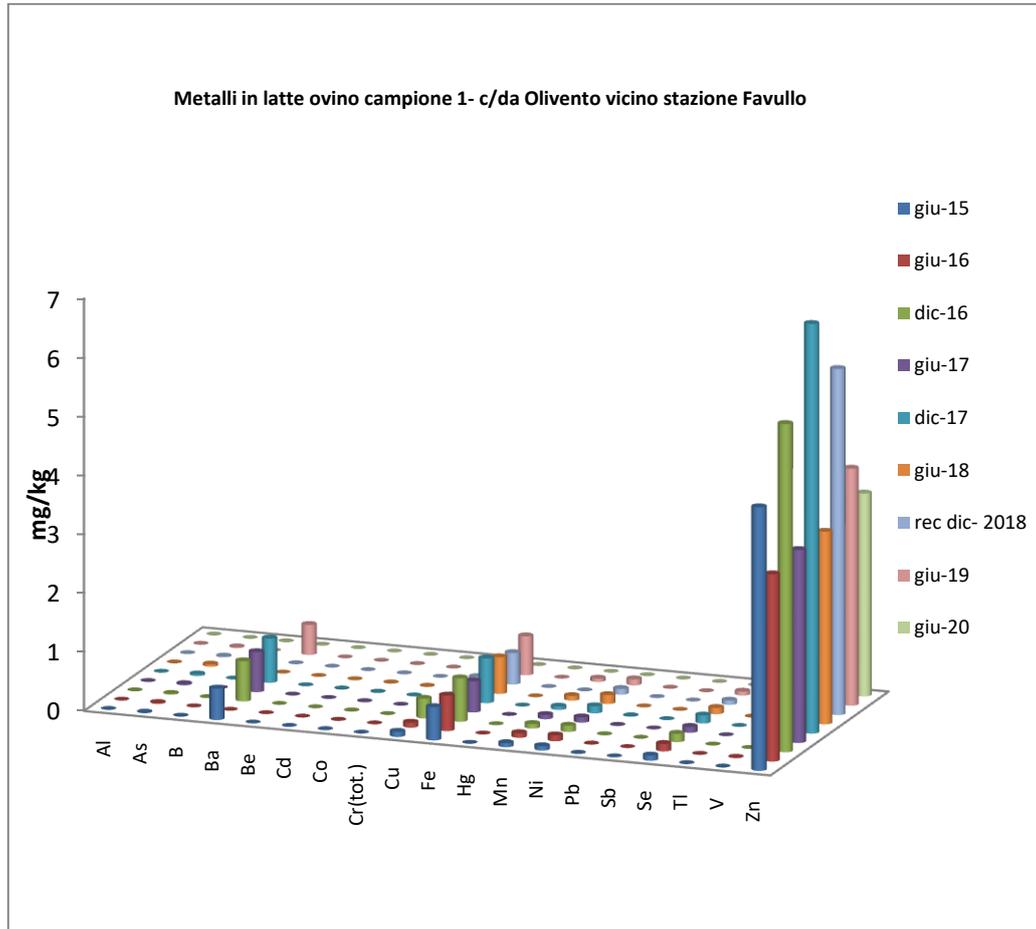


Figura 61. Grafico a barre della concentrazione dei metalli nei campioni di latte ovino prelevati dal 2015 al 2020

#### 4.8 Monitoraggio delle diossine e furani nel latte ovino

Sugli stessi campioni di latte ovino prelevati dal 2015 al 2020 sono state condotte analisi di diossine furani e PCB. Le analisi sono state affidate all'Istituto Zooprofilattico Sperimentale dell'Abruzzo e del Molise "G.Caporale" di Teramo. Nel periodo che ricopre un arco temporale di sei anni, non sono stati riscontrati superamenti rispetto ai valori riportati nel "Regolamento (CE) N.1881/2006 della Commissione del 19 dicembre 2006 che definisce i tenori massimi di alcuni contaminati nei prodotti alimentari" e successiva modifica "Regolamento (UE) N. 1259/2011 della Commissione del 2 dicembre 2011 che modifica il regolamento (CE) N.1881/2006 per quanto riguarda i tenori massimi per i PCB diossina-simili e i PCB non diossina-simili nei prodotti alimentari". I valori riscontrati sono anche al di sotto di quelli indicati dalla Raccomandazioni della Commissione Europea 2013/711/UE, sulla riduzione della presenza di diossine, furani e PCB nei

mangimi e negli alimenti. Riportiamo in tabella 40 uno schema riassuntivo dei risultati nei campioni di latte analizzati dal 2015 al 2020:

Cod lab	Matrice	Data prelievo	Fattoria circostante	campionamento	Somma di diossine (OMS-PCDD/F-TEQ)	Somma di diossine e PCB diossina-simili (OMS-PCDD/F-PCB-TEQ)	Somma di PCB 28, PCB52, PCB101, PCB138, PCB153 e PCB180 (ICES – 6)	Livelli di azione per diossine + furani (OMS-TEQ)	Livelli di azione per PCB diossina-simili (OMS-TEQ) (1)
Unita di misura					pg/g di grasso (33)	pg/g di grasso (33)	ng/g di grasso (33)	pg/g di grasso	pg/g di grasso
<b>Tenori massimi regolamento (CE) N.1881/2006 (modifica N. 1259/2011) nel latte crudo</b>					<b>2,5</b>	<b>5,5</b>	<b>40</b>		
<b>Raccomandazione 2013/711/UE nel latte crudo</b>								<b>1,75</b>	<b>2,00</b>
15039	Latte ovino	27/05/2015	contrada Olivento	1	0,28	0,45	1,04	0,28	0,17
15099	Latte ovino	15/12/2015	contrada valchiera	2	0,22	1,02	2,89	0,22	0,80
15153	Latte ovino	15/06/2016	contrada Olivento	1	0,04	0,16	0,65	0,04	0,12
15220	Latte ovino	24/11/2016	contrada valchiera/Olivento	2	0,08	0,43	1,13	0,08	0,35
15221	Latte ovino	20/12/2016	contrada Olivento	1	0,15	0,38	1,06	0,15	0,23
15279	Latte ovino	15/06/2017	contrada Olivento	1	0,53	1,11	2,41	0,53	0,58
15340	Latte ovino	11/12/2017	contrada Olivento	1	0,15	0,74	2,70	0,15	0,59
15390	Latte ovino	07/06/2018	contrada Olivento	1	0,10	0,75	2,21	0,10	0,65
15470	Latte ovino	28/03/2019	contrada Olivento	recupero campionamento dicembre 2018	0,12	0,31	1,10	0,12	0,19
15508	Latte ovino	11/06/2019	contrada Olivento	1	0,08	0,27	0,85	0,08	0,19
15634	latte ovino	25/06/2020	contrada Olivento	1	0,06	0,14	0,25	0,06	0,08

Tabella 40. Risultati somme upper bound PCB, diossine e furani

## Diossine e furani

Nella figura 62 viene riportato il confronto dei profili dei valori di concentrazione di diossine e furani nei campioni di latte ovino prelevati dal 2015 al 2020. Il grafico mostra lo stesso andamento per tutti gli anni di campionamento.

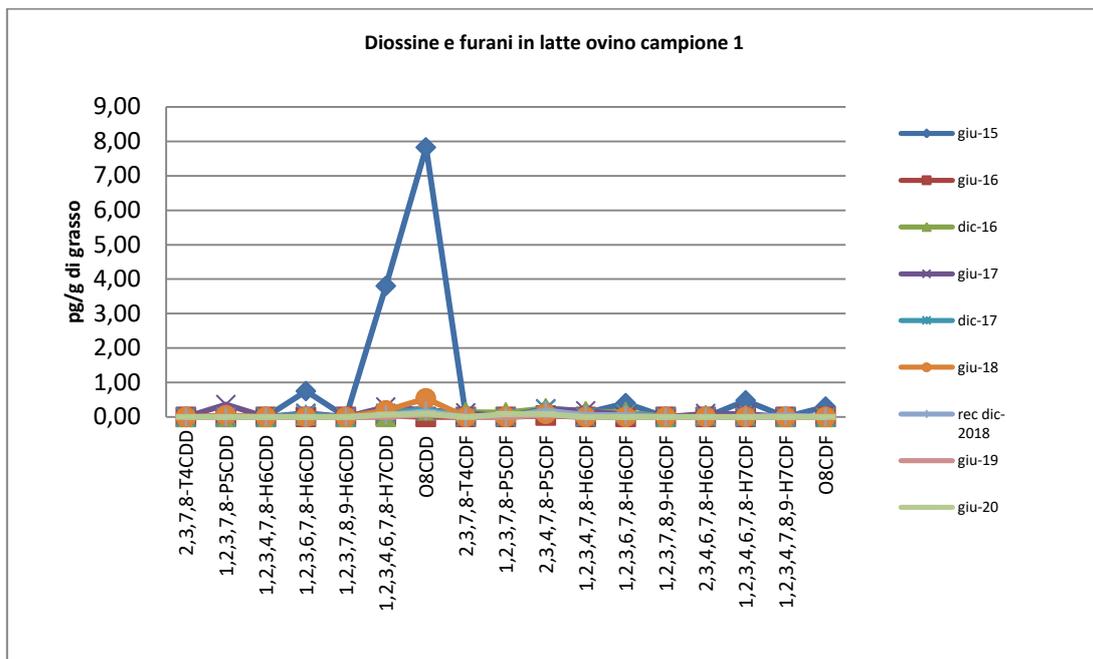
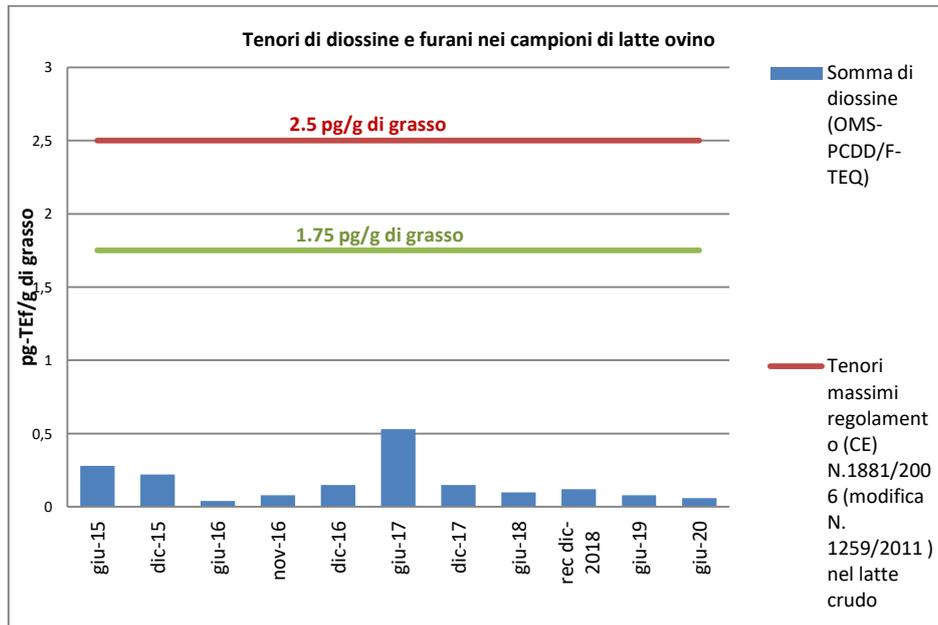


Figura 62. Profilo dei valori di concentrazione delle diossine e furani nei campioni di latte ovino prelevati dal 2015 al 2020

I valori della sommatoria rimangono ben al di sotto dei tenori massimi consentiti dalla legge come mostrato nel grafico di figura 63, in cui vengono messi in evidenza sia i valori della sommatoria negli anni di campionamento che i valori soglia indicati dalla legge.



**Figura 63.** Tenori della somma delle concentrazioni di diossine e furani nei campioni di latte ovino analizzati dal 2015 al 2020 confrontato ai tenori massimi consentiti dal Regolamento (CE) N.1881/2066 (modifica N.1259/2011)

### PCB diossina-simili

I PCB diossina-simili sono un gruppo di congeneri che a causa della loro struttura presentano una tossicità vicina a quella delle diossine. I profili per il campione 1 di latte sono rappresentati nel grafico di figura 64.

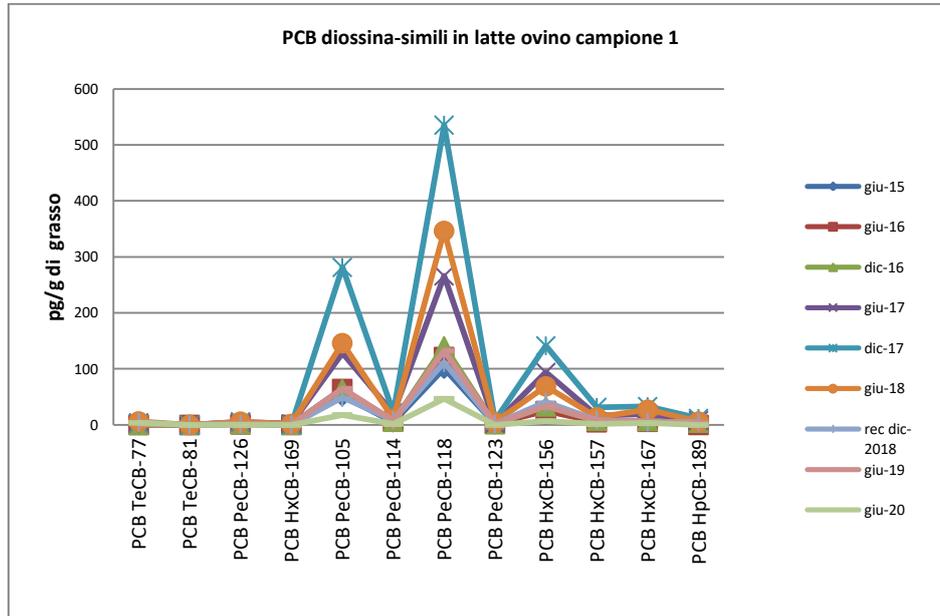
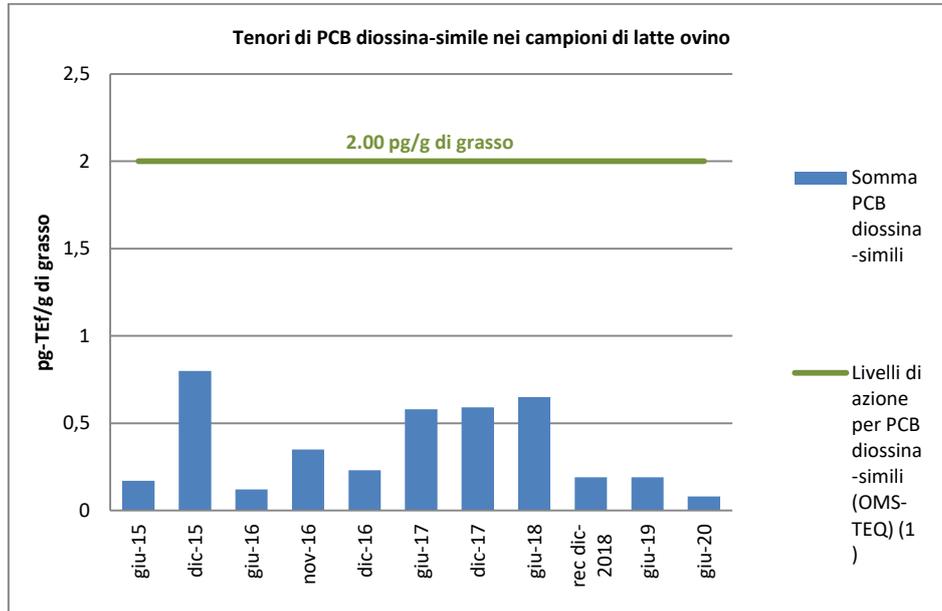


Figura 64. Profili delle concentrazioni dei PCB diossina-simili nei campioni di latte ovino prelevati dal 2015 al 2020

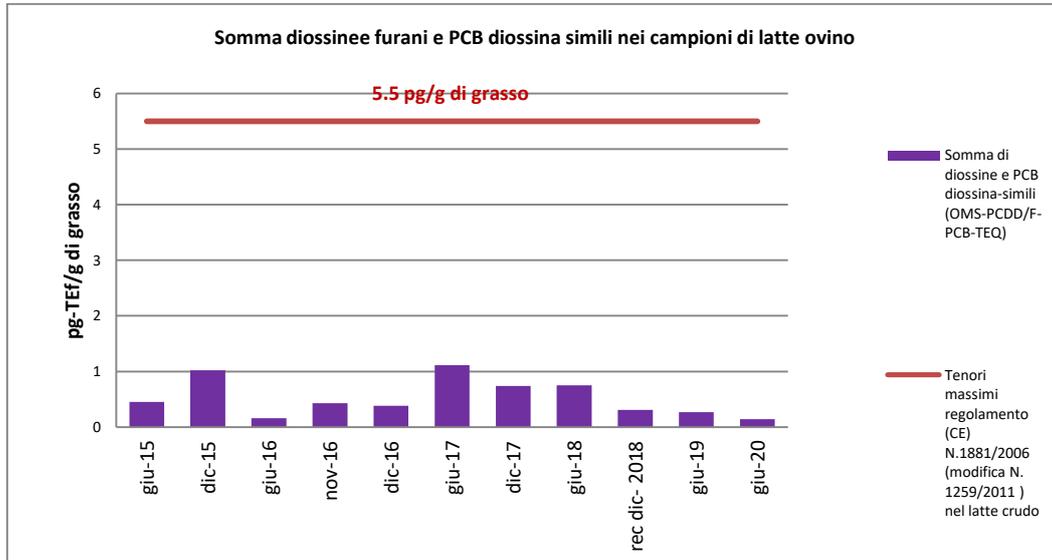
Il profilo dei congeneri rimane lo stesso in tutti gli anni di campionamento. Osservando il grafico si può notare che fino al 2018 i valori di concentrazione tendono ad avere un graduale aumento, mentre negli anni successivi si ha una graduale diminuzione.

La legge non fornisce valori soglia per la sommatoria dei soli PCB diossina-simili, l'unica indicazione è presente nella Raccomandazione della Commissione Europea 2013/711/UE come concentrazione a cui attestare un livello di attenzione, ma in tutti gli anni di campionamento i valori riscontrati rimangono ben al di sotto come mostrato nel grafico riportato in figura 65.



**Figura 65.** Tenori di concentrazione dei PCB diossina-simili nei campioni di latte ovino confrontati con il livelli di azione della Raccomandazione della Commissione Europea 2013/711/UE

La normativa, invece, fornisce dei valori soglia per la somma delle diossine e dei PCB diossina-simili ed anche in questo caso i valori di concentrazione riscontrati in questi anni di indagini rimangono al di sotto del valore limite come mostrato nel grafico di figura 66.



**Figura 66.** Tenori di concentrazione della somma di diossine e furani e PCB diossina-simili nei campioni di latte ovino confrontati ai tenori massimi previsti dal Regolamento (CE) N.1881/2006 (modifica N.1259/2011)

### PCB non diossina-simili ICES-6

I PCB non diossina-simili ICES-6 sono un gruppo di sei congeneri che pur non avendo una tossicità paragonabili a quelle delle diossine vengono analizzati poiché sono presenti in quantità nettamente superiore a quelle degli altri PCB. Anche per questi congeneri il profilo rimane lo stesso nei cinque anni di campionamento e il PCB 153 è il più abbondante dei sei congeneri (figura 67).

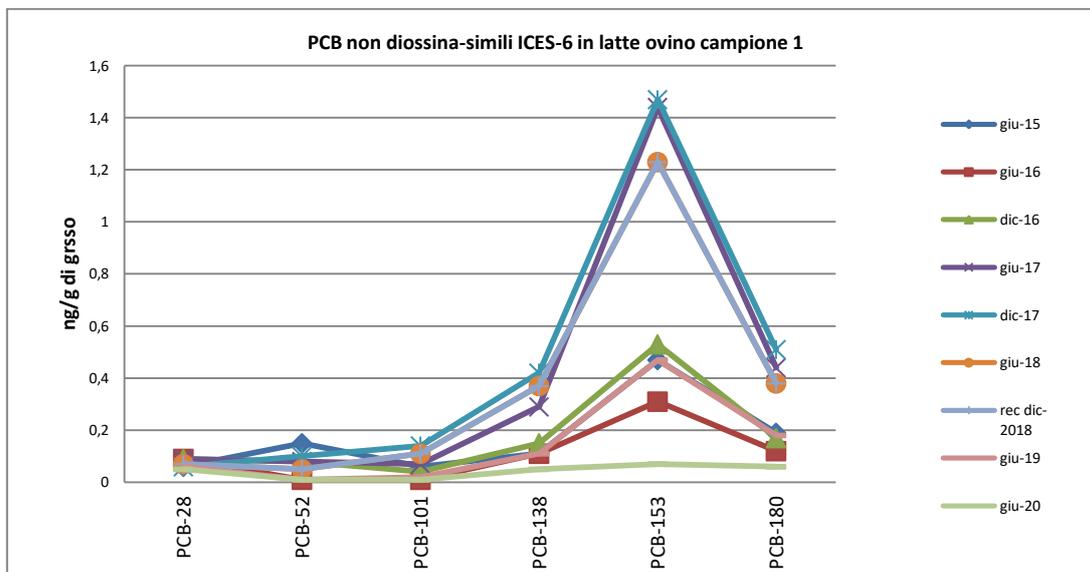


Figura 67. Profilo di concentrazione dei PCB ICES-6 in campioni di latte ovino prelevati dal 2015 al 2020

Le sommatorie in tutti gli anni di campionamento presi in considerazione rimangono anche per questi PCB ben al di sotto della soglia di concentrazione indicata dalla legge come mostrato nel grafico di figura 68.

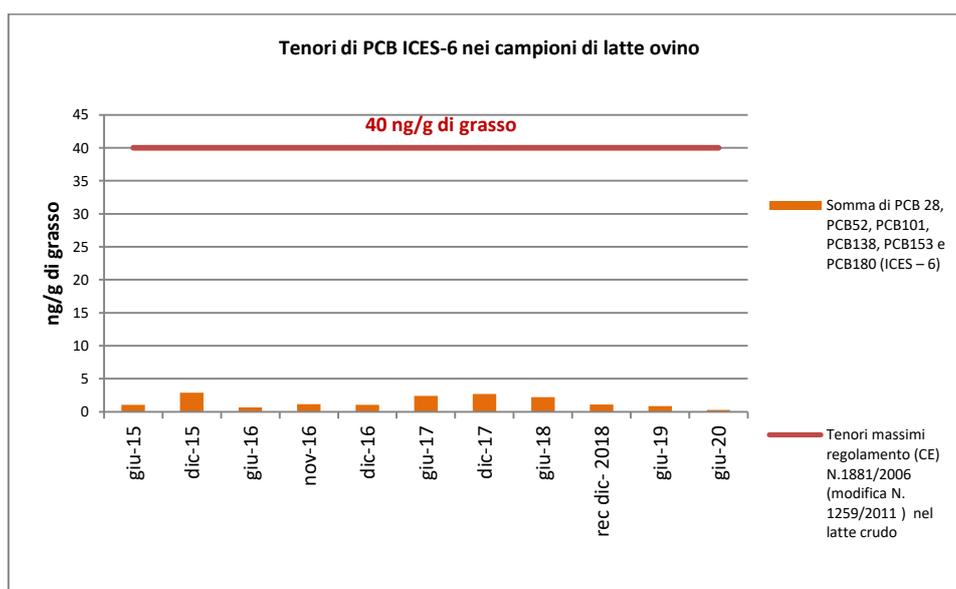


Figura 68. Tenori di PCB ICES-6 nei campioni di latte ovino prelevati dal 2015 al 2020 confrontati ai tenori massimi previsti dal regolamento (CE) N.1881/2006 (modifica N.1259/2011) nel latte crudo

#### 4.9 Monitoraggio delle diossine e furani nelle uova

In questo capitolo vengono presi in considerazione i risultati ottenuti dallo studio di diossine, furani e PCB delle uova di pollo prelevate dal 2015 al 2020 nell'ambito del suddetto Piano di Monitoraggio e Controllo. Anche nel caso delle uova, essendo una matrice alimentare, l'analisi delle diossine e furani è stata affidata all'Istituto Zooprofilattico Sperimentale dell'Abruzzo e del Molise "G.Caporale" di Teramo. Negli anni di monitoraggio dal 2015 al 2020, non sono stati riscontrati superamenti rispetto ai valori riportati nel "Regolamento (CE) N.1881/2006 della Commissione del 19 dicembre 2006 che definisce i tenori massimi di alcuni contaminati nei prodotti alimentari" e successiva modifica "Regolamento (UE) N. 1259/2011 della Commissione del 2 dicembre 2011 che modifica il regolamento (CE) N.1881/2006 per quanto riguarda i tenori massimi per i PCB diossina-simili e i PCB non diossina-simili nei prodotti alimentari". In un solo campione prelevato nel 2015 è stato riscontrato un valore su cui porre "attenzione", secondo la Raccomandazioni della Commissione Europea 2013/711/UE per la somma di diossine. Questa situazione successivamente non si è più ripetuta.

Nella tabella 41 viene riportato uno schema riassuntivo dei valori di concentrazione per Diossine e Furani e PCB riscontrati nei campioni di uova ed i relativi valori dei tenori massimi e dei livelli di azione previsti dai regolamenti vigenti.

Cod lab	Matrice	Data prelievo	Fattoria circostante	Somma di diossine (OMS-PCDD/F-TEQ)	Somma di diossine e PCB diossina-simili (OMS-PCDD/F-PCB-TEQ)	Somma di PCB 28, PCB52, PCB101, PCB138, PCB153 e PCB180 (ICES - 6) ( 32 )	Livelli di azione per diossine + furani (OMS-TEQ) ( 1 )	Livelli di azione per PCB diossina-simili (OMS-TEQ)
Unita di misura				pg/g di grasso ( 33 )	pg/g di grasso ( 33 )	ng/g di grasso ( 33 )	pg/g di grasso	pg/g di grasso
Tenori massimi regolamento (CE) N.1881/2006 (modifica N. 1259/2011 ) nelle uova				2,5	5,0	40		
Raccomandazione 2013/711/UE nelle uova							1,75	1,75
15041	Uova	campione 1 27/05/2015	Fattoria 1	1,99	3,31	4,71	1,99	1,32
15042	Uova	campione 2 27/05/2015	Fattoria 2	1,49	2,58	4,94	1,49	1,09

15152	Uova	campione 2 15/06/2016	Fattoria 2	0,57	0,97	2,33	0,57	0,40
15280	Uova	campione 3 15/06/2017	Fattoria 3	0,44	0,91	3,22	0,44	0,47
15391	Uova	campione 3 07/06/2018	Fattoria 3	0,21	0,68	1,99	0,21	0,47
15509	Uova	campione 3 11/06/2019	Fattoria 3	0,30	1,54	27,84	0,30	1,24
15635	uova	campione 3 25/06/2020	Fattoria 3	0,14	0,41	0,95	0,14	0,27

Tabella 41. Risultati somma upper bound PCB, diossine e furani

## Diossine e furani

Nella seguente figura viene riportato il confronto dei profili dei valori di concentrazione di diossine e furani nei campioni di uova prelevati dal 2015 al 2020. Il grafico mostra lo stesso andamento per tutti gli anni di campionamento.

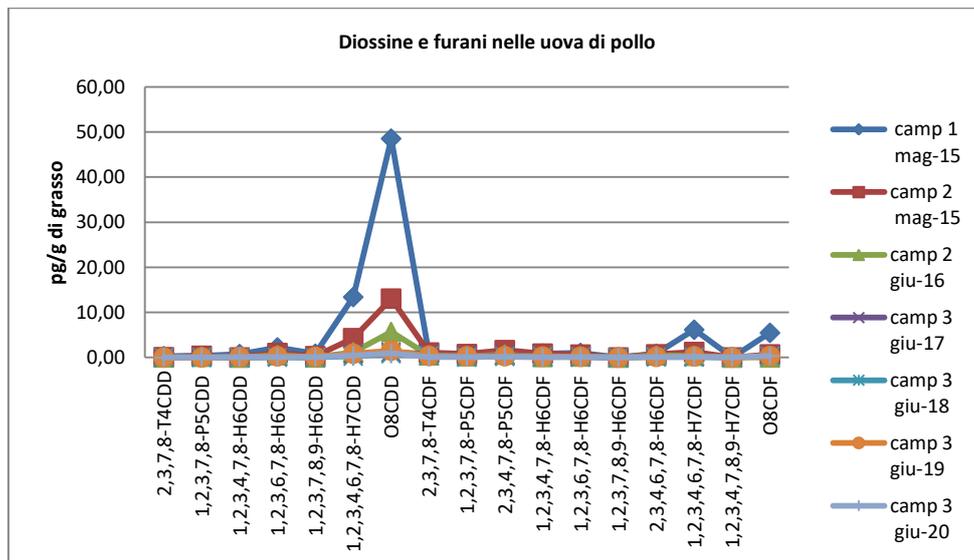
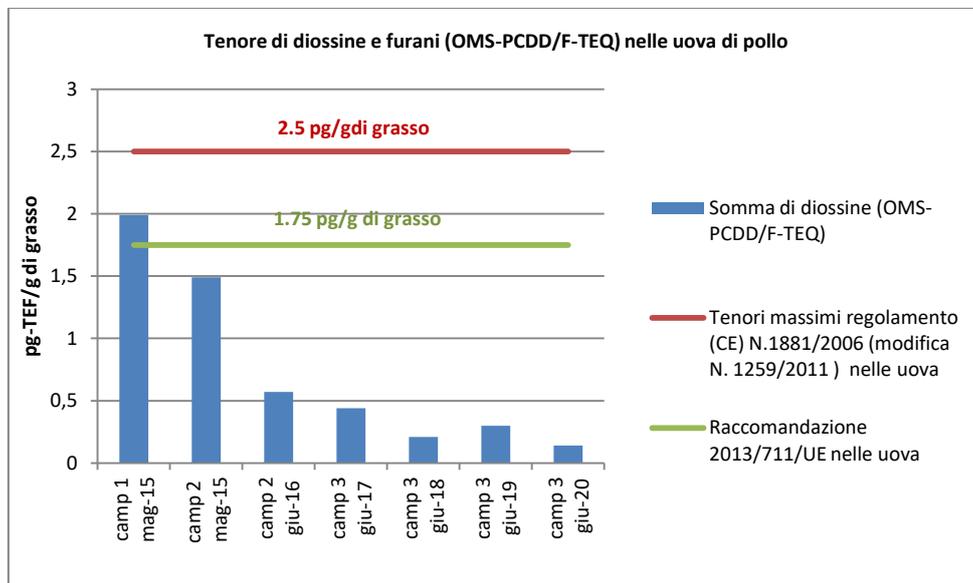


Figura 69. Profilo dei valori di concentrazione delle diossine e furani nei campioni di uova di pollo prelevati dal 2015 al 2020

Nel caso delle uova, come in quello del latte, il profilo della concentrazione dei congeneri è simile in tutti gli anni di campionamento. I valori di concentrazione più elevati si riscontrano nei campioni prelevati nel 2015, ma in nessun caso il tenore della concentrazione di diossine ha superato il valore soglia indicato dalla normativa vigente come si può osservare nel grafico riportato in figura 70. In un solo campione prelevato nel 2015 è stato riscontrato un valore su cui porre “attenzione”, secondo la Raccomandazioni della Commissione Europea 2013/711/UE per la somma di diossine. Questa situazione successivamente non si è più ripetuta.



**Figura 70.** Tenori della somma delle concentrazioni di diossine e furani nei campioni di uova di pollo analizzati dal 2015 al 2020 confrontato ai tenori massimi consentiti dal Regolamento (CE) N.1881/2066 (modifica N.1259/2011)

### PCB diossina-simili

Nel grafico di figura 71 viene rappresentato il profilo dei PCB diossina-simili per i campioni di uova prelevati dal 2015 al 2020.

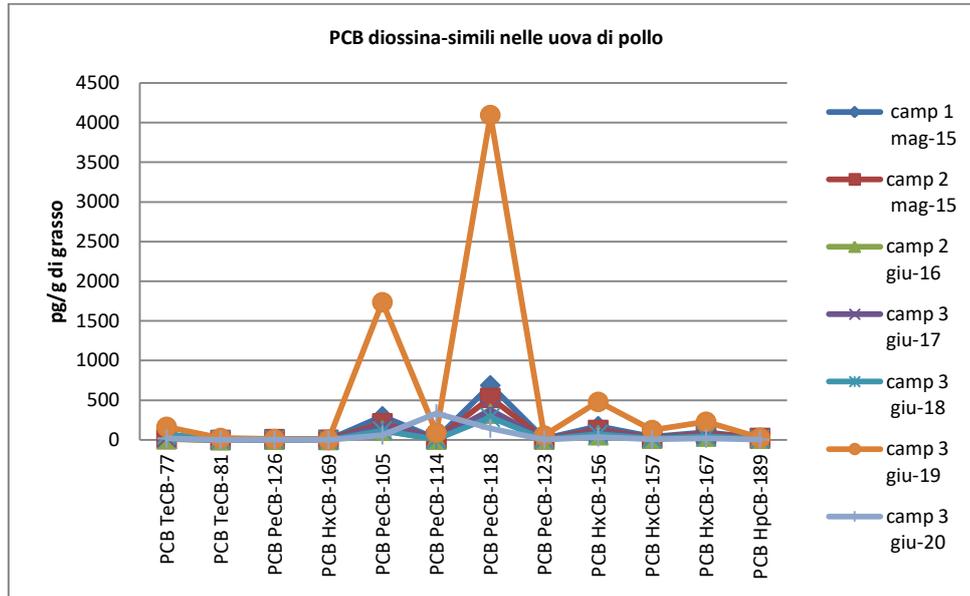
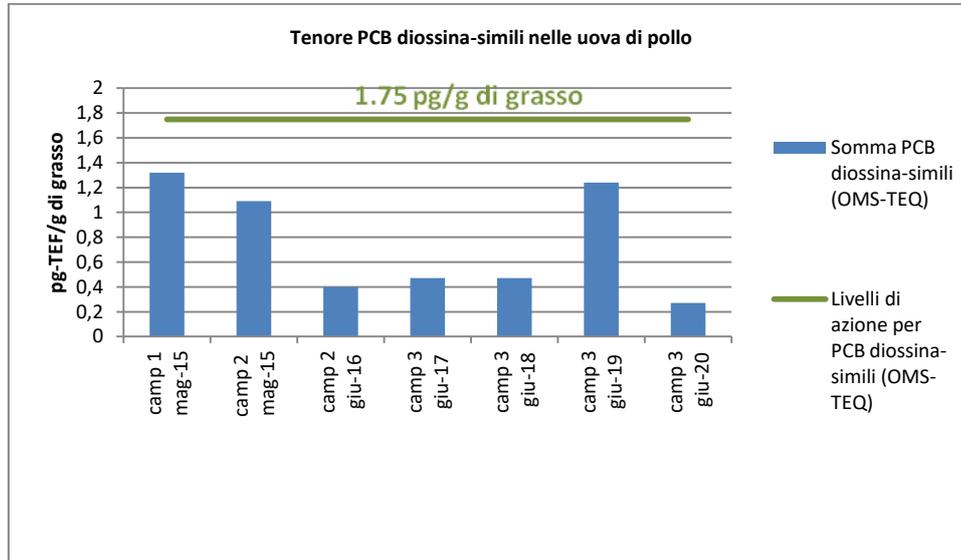


Figura 71. Profili delle concentrazioni dei PCB diossina-simili nei campioni di uova di pollo prelevati dal 2015 al 2020

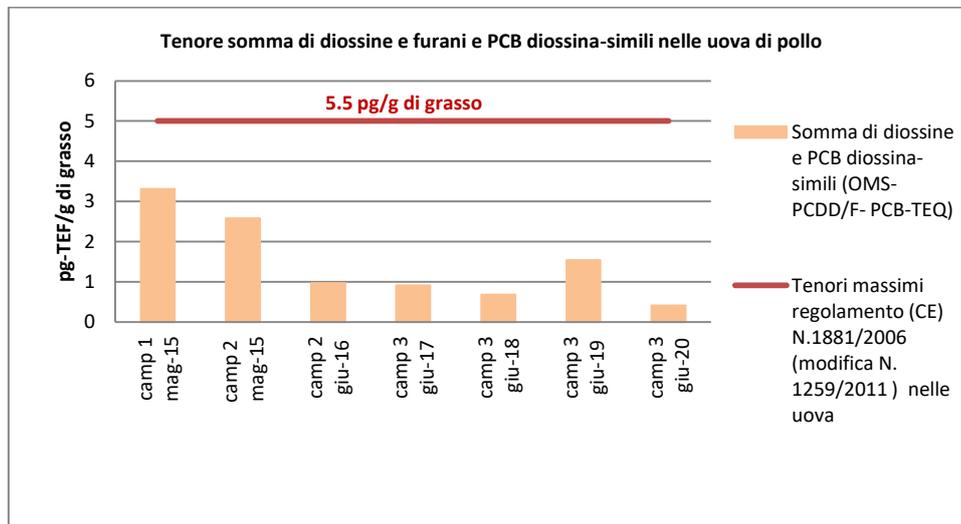
Anche nel caso delle uova possiamo notare profili molto simili per i PCB diossina simili, con valori di concentrazione più alti nel 2019.

Nel caso delle uova, come già visto per il latte, non ci sono limiti di legge per la sommatoria dei soli PCB diossina-simile ma solo una soglia di attenzione secondo la Raccomandazione della Commissione Europea 2013/711/UE. I valori ottenuti con i nostri campioni rimangono sempre al di sotto di questa soglia come possiamo vedere dal grafico seguente. Anche nel 2019, pur riscontrando valori di concentrazione dei PCB-diossina simili più alti, tali valori rimangono al di sotto della soglia di attenzione (figura 72).



**Figura 72.** Tenori di concentrazione dei PCB diossina-simili nelle uova di pollo confrontati con il livelli di azione della Raccomandazione della Commissione Europea 2013/711/UE

La normativa fornisce, invece, dei valori soglia per la somma delle diossine e dei PCB diossina-simili che vengono rappresentate nel grafico di figura 73.



**Figura 73.** Tenori di concentrazione della somma di diossine e furani e PCB diossina-simili nei campioni di uova di pollo confrontati ai tenori massimi previsti dal Regolamento (CE) N.1881/2006 (modifica N.1259/2011)

Ed anche in questo caso i valori trovati sono sempre al di sotto di tali limiti.

### PCB non diossina-simili ICES-6

Analizzando i profili delle concentrazioni dei PCB non diossina-simili troviamo un andamento simile anche in questo caso per tutti gli anni di monitoraggio (figura 74). Anche per gli ICES-6 troviamo che i valori di concentrazione più alti sono nel campione prelevato nell'anno 2019, pur rimanendo tutti ad ben da di sotto del valore di 40ng/g di grasso previsto dalla normativa (figura 75).

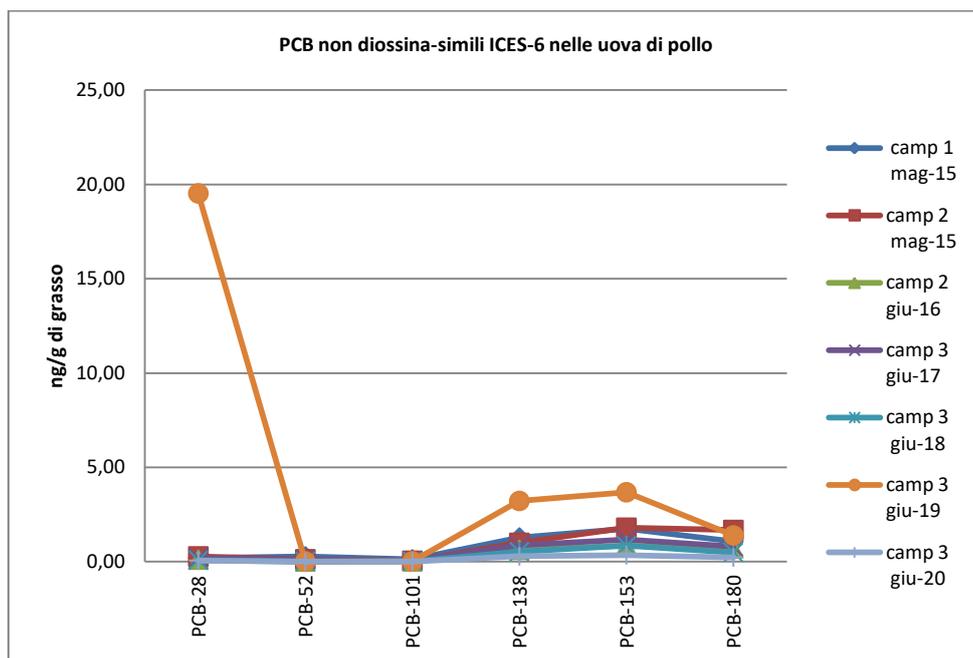
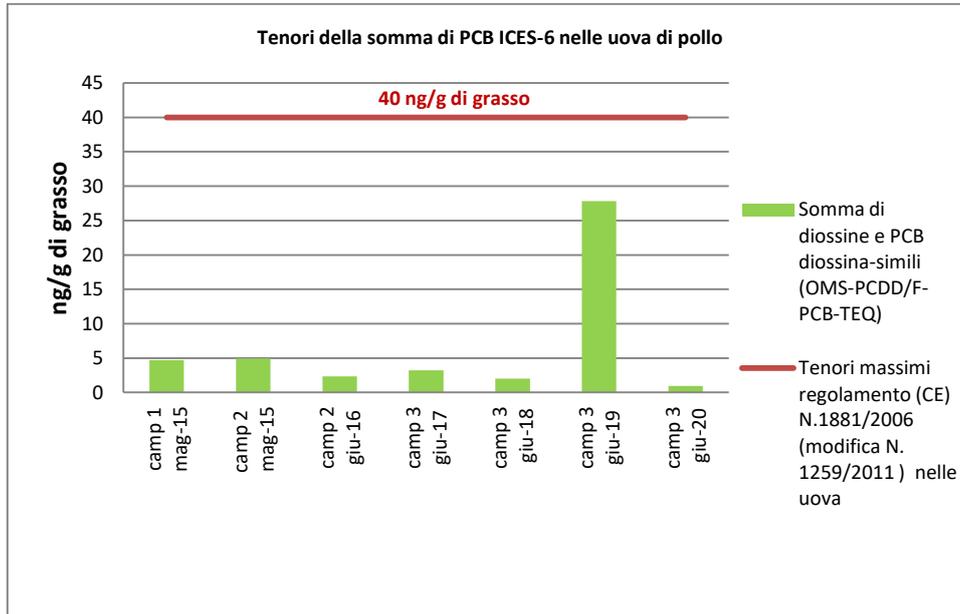


Figura 74. Profilo di concentrazione dei PCB ICES-6 in campioni di uova di pollo prelevati dal 2015 al 2020



**Figura 75.** Tenori di PCB ICES-6 nei campioni di uova di pollo prelevati dal 2015 al 2020 confrontati ai tenori massimi previsti dal regolamento (CE) N.1881/2006 (modifica N.1259/2011)

#### 4.10 Monitoraggio dei metalli pesanti e degli idrocarburi policiclici aromatici negli ortaggi



Figura 76. Campioni dell'orto

Il presente capitolo ha per oggetto un'elaborazione statistica dei dati riguardanti l'analisi di idrocarburi policiclici aromatici e metalli in campioni di vegetali condotta nel quadro del programma di biomonitoraggio degli impatti ambientali dell'impianto di termovalorizzazione di Melfi (PZ).

Un totale di 71 campioni appartenenti a sei diverse specie vegetali (bietola, brassica, indivia, lattuga, cicoria e tarassaco) sono stati prelevati con cadenza trimestrale nel periodo 2015-2020 dal sito di Lamiola (PZ).

#### Tattamento dei dati

I dati relativi ai 71 campioni analizzati sono riportati in tabella 42 e 43 rispettivamente per gli idrocarburi policiclici aromatici e per i metalli pesanti, dove i valori inferiori ai limiti di quantificazione (LOQ), evidenziati in rosso, sono stati trattati secondo il criterio "medium-bound", cioè posti uguali alla metà dei rispettivi LOQ.

Matrice	Anno	Trimestre	Naftalene	Acenaftene	Fluorene	Fenantrene	Antracene	Fluorantene	Pirene	Benzo(a) antracene	Crisene	Benzo(k) fluorantene	Benzo(a) pirene	Dibenzo(a,h) antracene	Benzo(g,h,i) perilene	Indeno(1,2,3- cd)pirene
			µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg
Brassica	2015	I	0,25	0,26	0,50	30,96	5,07	1,16	0,53	0,25	0,31	0,05	0,03	0,25	0,50	0,50
Bietola	2015	I	0,25	0,34	4,40	37,60	5,04	1,76	1,18	0,25	1,10	0,18	0,07	0,25	0,50	0,50
Tarassaco	2015	I	0,25	0,05	7,23	84,40	13,56	2,21	0,05	0,25	0,81	0,13	0,06	0,25	0,50	0,50
Indivia	2015	I	0,25	0,11	0,50	33,43	1,87	3,96	0,05	0,25	1,93	0,29	0,13	0,25	0,50	0,50
Bietola	2015	II	2,08	0,05	0,50	4,79	0,20	0,37	0,90	0,25	0,66	0,09	0,15	0,25	0,50	0,50
Tarassaco	2015	II	1,28	0,05	0,50	8,64	0,83	4,72	2,26	0,25	1,74	0,37	0,26	0,25	0,50	0,50
Tarassaco	2015	III	0,73	0,05	0,50	3,42	0,13	1,91	1,37	0,25	3,25	0,32	0,37	0,25	0,50	0,50
Brassica	2015	III	1,81	0,05	0,50	5,30	0,44	3,48	1,42	0,82	1,62	0,81	1,52	0,25	1,93	1,88
Bietola	2015	III	1,55	0,05	0,50	6,69	0,72	3,89	1,54	0,25	2,01	0,15	0,23	0,25	0,50	0,50
Lattuga	2015	IV	0,25	0,05	0,50	1,87	0,15	4,36	3,33	0,25	2,48	0,40	0,65	0,25	0,50	0,50
Indivia	2015	IV	15,03	0,05	0,50	1,93	0,09	3,47	1,74	0,25	2,49	0,48	0,54	0,25	0,50	0,50
Brassica	2015	IV	0,98	0,05	0,50	1,08	0,09	1,28	0,43	0,25	0,75	0,14	0,34	0,25	0,50	0,50
Tarassaco	2015	IV	0,25	0,05	0,50	1,83	0,15	2,36	1,41	0,25	1,49	0,38	0,45	0,25	0,50	0,50
Bietola	2015	IV	10,19	0,05	0,50	1,99	0,18	2,44	1,72	0,25	1,53	0,19	0,17	0,25	0,50	0,50
Tarassaco	2016	I	1,35	0,05	0,50	6,15	0,34	2,67	1,50	0,51	2,03	0,62	1,04	0,25	1,00	1,77
Brassica	2016	I	0,25	0,05	0,50	1,46	0,08	1,83	0,98	0,25	1,08	0,19	0,10	0,25	0,50	0,50
Indivia	2016	I	3,69	0,05	0,50	7,73	1,75	5,92	1,69	0,25	5,10	0,33	0,93	0,25	0,50	0,50

Indivia	2016	II	7,00	0,05	0,50	4,14	1,31	13,25	12,77	3,42	11,13	4,47	3,37	0,25	0,50	0,50
Tarassaco	2016	II	3,79	0,05	0,50	3,74	0,03	4,56	4,35	0,61	2,89	0,85	1,40	0,25	1,24	0,50
Cicoria	2016	II	10,22	0,05	0,50	1,39	0,03	8,53	6,98	1,79	8,37	1,44	3,64	0,25	2,54	0,50
Brassica	2016	III	0,25	0,17	0,50	4,71	0,32	3,13	3,86	1,47	2,22	0,65	0,78	0,25	1,43	0,50
Tarassaco	2016	III	0,25	0,05	0,50	8,25	0,16	3,89	4,28	0,25	3,78	0,95	0,70	0,25	1,28	0,50
Bietola	2016	III	0,25	0,50	0,50	12,81	1,60	12,60	10,56	5,81	8,23	4,33	7,09	2,92	6,05	4,66
Indivia	2016	III	0,25	0,63	0,50	14,25	0,48	6,48	6,15	1,43	5,14	1,46	1,88	0,25	13,22	0,50
Indivia	2016	IV	0,25	0,05	0,50	1,95	0,10	3,89	2,11	0,25	1,60	0,30	0,25	0,25	3,59	0,50
Tarassaco	2016	IV	4,12	0,20	6,60	7,00	0,20	4,42	2,10	0,25	1,68	0,36	0,20	0,25	2,94	0,50
Tarassaco	2017	I	1,10	0,05	0,50	4,94	0,20	2,07	1,71	0,25	1,35	0,04	0,27	0,25	1,00	0,50
Brassica	2017	I	1,51	0,05	0,50	0,65	0,03	3,14	0,50	0,25	3,49	0,00	0,06	0,25	0,50	0,50
Indivia	2017	I	0,25	0,28	0,50	1,12	0,07	2,14	2,25	0,65	3,06	0,67	0,96	1,57	3,33	0,50
Bietola	2017	II	2,04	0,11	0,50	1,24	0,18	3,15	3,02	2,76	3,94	2,02	2,20	2,74	2,55	2,93
Tarassaco	2017	II	0,69	0,05	0,50	1,02	0,06	0,49	0,45	0,25	0,28	0,07	0,04	0,25	1,30	0,50
Indivia	2017	II	0,59	0,16	0,50	5,73	0,20	0,82	1,14	0,63	3,37	0,29	0,11	0,83	1,76	0,50
Indivia	2017	III	4,09	0,05	1,27	10,50	0,11	3,21	2,03	0,25	1,47	0,43	0,58	0,52	1,47	0,50
Tarassaco	2017	III	2,04	0,05	0,50	5,74	0,20	2,78	1,69	0,88	2,00	0,51	0,83	0,25	0,50	0,86
Brassica	2017	III	1,30	0,05	0,50	1,80	1,02	0,62	0,66	0,25	1,30	0,29	0,27	0,51	0,50	0,56
Indivia	2017	IV	1,36	0,05	0,50	1,14	0,06	1,14	0,75	0,25	0,77	0,14	0,08	0,25	0,50	0,50
Brassica	2018	I	0,25	1,70	2,45	5,66	1,67	2,70	2,81	0,25	1,55	0,42	0,25	0,25	0,50	0,50

Indivia	2018	I	0,25	4,12	5,15	18,63	4,45	14,83	12,01	2,31	14,34	4,43	1,85	2,16	3,96	5,17
Tarassaco	2018	I	0,63	1,67	2,43	7,52	2,11	8,37	7,35	1,31	9,30	3,29	1,07	0,25	2,28	3,76
Brassica	2018	II	0,25	1,91	3,72	7,34	3,88	4,11	4,69	2,32	2,55	2,82	2,02	2,11	2,50	2,60
Lattuga	2018	II	0,88	3,81	5,36	10,77	4,31	6,07	6,92	3,52	4,58	4,64	3,07	3,06	4,68	4,25
Tarassaco	2018	II	0,25	3,39	3,96	13,20	3,06	4,96	5,93	1,17	2,88	1,63	0,25	0,96	2,88	2,88
Tarassaco	2018	III	3,46	10,63	11,39	22,74	9,56	10,06	12,84	6,38	7,07	5,76	3,76	4,96	7,05	7,51
Tarassaco	2018	IV	5,00	0,25	0,25	5,62	0,87	4,42	3,15	2,49	2,65	1,20	0,25	0,25	1,41	1,95
Indivia	2018	IV	5,00	0,25	0,25	2,81	0,86	1,88	1,60	1,73	0,81	0,58	0,25	0,25	1,16	1,50
Bietola	2019	I	5,00	0,25	0,25	1,99	1,07	1,06	1,28	1,36	0,25	0,50	0,25	0,25	1,08	1,39
Tarassaco	2019	I	5,00	0,25	0,25	1,93	1,48	1,76	2,08	2,22	0,25	0,50	0,25	0,25	0,25	2,03
Lattuga	2019	I	5,00	0,25	0,25	2,07	1,32	1,33	1,75	1,96	0,25	0,50	0,25	0,25	1,39	1,99
Tarassaco	2019	II	5,00	0,25	0,25	0,84	0,25	0,76	1,00	1,01	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Bietola	2019	II	5,00	0,25	0,25	0,51	0,25	0,75	0,94	0,96	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Bietola	2019	III	5,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,50	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Tarassaco	2019	III	5,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,53	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Lattuga	2019	III	5,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,57	0,60	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Tarassaco	2019	IV	5,00	0,25	0,25	3,61	0,25	2,47	1,98	2,59	1,40	0,71	0,25	0,25	0,25	0,25
Lattuga	2019	IV	5,00	0,25	0,25	4,07	0,25	3,11	4,13	2,76	0,86	0,69	0,25	0,25	0,25	0,25
Lattuga	2020	I	5,00	0,25	0,59	7,74	0,90	2,37	1,86	0,80	2,90	0,91	0,79	0,25	1,03	1,07
Indivia	2020	I	5,00	0,25	0,25	1,76	0,25	0,74	0,76	0,25	0,51	0,25	0,25	0,25	0,54	0,51

Bietola	2020	I	5,00	0,25	0,25	8,90	0,76	2,47	2,23	0,71	2,51	1,00	0,91	0,25	1,36	1,36
Tarassaco	2020	I	5,00	0,25	0,25	2,16	0,25	0,61	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Tarassaco	2020	II	5,00	1,39	1,70	3,08	1,35	1,72	1,74	1,65	1,21	0,92	1,14	0,73	1,78	1,83
Bietola	2020	II	5,00	0,25	0,55	1,19	0,25	0,56	0,54	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,51	0,55
Brassica	2020	II	5,00	0,25	0,67	1,84	0,25	0,72	0,69	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,52	0,57
Lattuga	2020	II	5,00	1,04	1,36	3,04	1,01	1,60	1,65	1,13	0,91	0,63	0,77	0,25	1,16	1,26
Indivia	2020	II	5,00	0,66	0,85	1,57	0,63	0,81	0,78	0,77	0,56	0,25	0,53	0,25	0,80	0,85
Bietola	2020	III	5,00	0,25	2,05	2,33	0,25	0,84	0,89	0,25	0,95	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Lattuga	2020	III	5,00	0,25	1,77	1,70	0,25	0,68	0,81	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Brassica	2020	III	0,85	0,17	1,20	2,56	0,34	0,96	1,03	0,45	0,92	0,20	0,22	0,26	0,47	0,39
Brassica	2020	IV	5,00	1,74	0,25	4,36	2,18	4,92	4,24	3,22	1,54	1,35	1,68	1,81	2,82	3,34
Lattuga	2020	IV	5,00	3,21	0,56	6,58	3,77	6,17	6,11	5,74	3,65	2,77	3,03	3,16	4,97	6,29
Bietola	2020	IV	5,00	2,70	0,25	8,37	3,37	6,76	6,10	4,95	2,79	2,12	2,61	2,84	4,48	5,30
Indivia	2020	IV	5,00	3,86	0,66	9,11	4,64	8,80	8,47	7,16	4,43	3,15	3,85	3,95	6,66	7,51

**Tabella 42.** Dati relativi agli idrocarburi policiclici aromatici nei 71 campioni di vegetali prelevati nel sito di monitoraggio di Lamiola nel periodo 2015-2020. In rosso sono evidenziati i valori inferiori ai limiti di quantificazione, trattati secondo il criterio medium-bound.

Matrice	Anno	Trimestre	Alluminio	Arsenico	Boro	Bario	Berillio	Cadmio	Cobalto	Cromo	Rame	Ferro	Manganese	Nichel	Piombo	Tallio	Vanadio	Zinco
			mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Brassica	2015	I	73,48	0,28	30,25	29,75	0,003	0,139	0,152	0,223	1,425	60,98	46,28	1,340	0,053	1,903	0,025	17,85
Bietola	2015	I	708,40	0,22	41,54	69,29	0,059	0,056	0,542	1,585	7,128	654,47	120,64	1,911	0,765	0,017	0,307	29,97

Tarassaco	2015	I	309,05	0,65	27,61	26,46	0,023	0,057	0,194	0,617	9,621	264,85	38,04	1,468	0,261	0,009	0,506	29,48
Indivia	2015	I	399,79	0,20	32,47	35,41	0,030	0,222	0,404	0,951	6,886	359,25	70,19	2,313	0,592	0,012	0,426	19,14
Bietola	2015	II	257,79	0,13	49,00	227,36	0,017	0,175	0,369	1,177	11,400	212,26	191,40	1,168	0,286	0,022	0,332	58,12
Tarassaco	2015	II	72,49	0,32	83,36	38,68	0,003	0,155	0,135	0,431	8,566	51,76	68,40	1,078	0,160	0,014	0,505	43,95
Tarassaco	2015	III	133,21	0,19	64,41	27,64	0,012	0,199	0,121	0,364	11,820	148,65	72,49	1,777	0,364	0,015	0,361	65,84
Brassica	2015	III	40,70	0,79	46,22	31,96	0,003	0,615	0,152	0,108	2,642	43,68	106,88	1,808	0,053	2,519	0,144	29,93
Bietola	2015	III	701,52	0,36	48,26	113,72	0,049	0,365	0,328	1,031	15,250	510,03	169,40	1,878	0,472	0,034	1,372	49,39
Lattuga	2015	IV	19,64	0,30	27,84	22,60	0,007	0,143	0,097	4,176	8,537	121,52	36,32	1,332	0,166	0,003	0,257	44,58
Indivia	2015	IV	168,21	0,38	48,24	35,44	0,017	0,224	0,212	1,707	9,547	191,14	41,77	1,250	0,343	0,009	0,527	64,47
Brassica	2015	IV	28,92	0,12	36,14	24,64	0,003	0,072	0,060	0,706	1,295	46,97	16,06	1,016	0,051	0,899	0,076	13,05
Tarassaco	2015	IV	287,91	0,23	78,02	29,32	0,026	0,245	0,231	1,002	6,452	237,46	94,24	1,387	0,402	0,017	0,596	62,48
Bietola	2015	IV	510,09	0,34	39,83	68,68	0,043	0,057	0,312	5,008	5,640	463,60	83,93	1,195	0,428	0,016	1,087	21,34
Tarassaco	2016	I	1523,69	0,38	32,15	37,99	0,106	0,225	0,688	2,040	10,715	1055,84	108,70	3,170	0,727	0,034	2,845	41,63
Brassica	2016	I	36,08	0,14	18,47	8,23	0,003	0,067	0,148	0,181	3,153	52,53	16,31	1,064	0,062	0,071	0,127	14,59
Indivia	2016	I	473,02	0,30	47,10	43,53	0,029	0,220	0,319	1,032	11,300	402,19	47,44	3,268	0,321	0,017	1,033	55,93
Indivia	2016	II	167,43	0,48	72,05	47,66	0,014	0,346	0,390	0,925	27,355	180,29	47,66	1,517	0,237	0,011	0,583	132,37
Tarassaco	2016	II	267,32	0,56	34,71	24,67	0,017	0,118	0,174	0,776	9,343	225,27	78,79	0,990	0,178	0,013	0,601	66,36
Cicoria	2016	II	399,32	0,29	19,32	17,80	0,032	0,077	0,248	1,250	8,996	364,38	35,77	1,670	0,243	0,008	1,128	48,92
Brassica	2016	III	220,63	0,26	24,96	47,55	0,012	0,204	0,182	0,629	1,962	119,27	61,68	1,994	0,191	0,017	0,373	21,26
Tarassaco	2016	III	288,65	0,17	35,15	18,44	0,017	0,129	0,119	0,710	8,811	160,64	48,66	1,212	0,220	0,014	0,441	34,06
Bietola	2016	III	360,70	0,19	29,91	109,99	0,026	0,423	0,249	0,617	5,716	203,72	271,70	1,372	0,591	0,044	0,593	46,74
Indivia	2016	III	1037,43	0,89	39,99	22,67	0,067	0,362	0,372	1,645	10,712	524,30	80,73	1,972	0,923	0,039	1,764	158,51
Indivia	2016	IV	605,04	0,37	29,83	24,80	0,036	0,162	0,369	1,236	15,080	406,64	47,11	2,119	0,539	0,013	1,471	85,12
Tarassaco	2016	IV	62,29	0,39	27,02	10,59	0,009	0,198	0,114	0,445	5,535	123,84	79,74	1,077	0,180	0,006	0,436	27,10
Tarassaco	2017	I	499,86	0,31	25,31	31,95	0,029	0,110	0,294	0,884	13,150	334,51	56,22	1,814	0,391	0,012	1,171	40,80
Brassica	2017	I	119,38	0,14	24,44	8,96	0,005	0,243	0,111	0,288	1,877	79,51	27,41	0,998	0,095	0,254	0,244	17,18

Indivia	2017	I	269,55	0,32	32,51	27,06	0,016	0,169	0,221	0,727	13,405	182,50	25,80	2,295	0,233	0,008	0,642	89,44
Bietola	2017	II	165,82	0,41	57,72	260,09	0,011	0,297	0,386	0,457	10,012	134,63	591,63	1,330	0,396	0,020	0,572	28,81
Tarassaco	2017	II	186,63	0,75	59,00	24,99	0,017	0,263	0,113	0,699	8,187	161,20	38,64	0,783	0,364	0,024	0,693	34,35
Indivia	2017	II	490,94	0,93	56,11	72,91	0,042	0,466	0,312	1,392	23,176	444,40	36,91	3,401	0,708	0,024	1,591	78,67
Indivia	2017	III	205,61	0,50	27,53	31,05	0,015	0,176	0,145	0,758	14,009	192,41	23,10	2,561	0,341	0,009	0,724	44,92
Tarassaco	2017	III	133,86	0,69	48,67	24,00	0,011	0,112	0,121	0,594	8,000	129,80	48,04	6,384	0,296	0,043	0,607	23,64
Brassica	2017	III	22,18	0,54	18,75	30,26	0,003	0,219	0,127	0,293	3,676	45,67	26,94	1,597	0,109	0,675	0,315	19,28
Indivia	2017	IV	617,11	0,60	32,28	32,02	0,049	0,124	0,335	1,885	7,901	472,03	23,47	1,578	0,863	0,021	1,676	43,99
Brassica	2018	I	26,84	0,17	14,35	12,50	0,003	0,103	0,169	0,235	4,263	50,95	18,75	1,402	0,073	1,923	0,338	18,68
Indivia	2018	I	339,75	0,68	24,79	15,49	0,023	0,155	0,256	0,638	8,278	290,98	22,52	1,597	0,626	0,025	0,804	86,79
Tarassaco	2018	I	97,91	1,15	18,07	11,25	0,009	0,222	0,132	0,279	9,221	115,87	37,49	1,188	0,427	0,012	0,496	27,22
Brassica	2018	II	300,87	0,58	33,29	44,29	0,028	0,223	0,361	0,761	3,659	195,20	33,29	2,514	0,247	0,012	1,065	27,17
Lattuga	2018	II	726,69	0,86	27,85	17,69	0,072	0,347	0,474	1,404	10,394	471,50	76,29	2,416	0,635	0,019	2,452	99,24
Tarassaco	2018	II	276,92	0,90	40,82	11,80	0,027	0,233	0,188	0,769	8,297	192,06	34,18	1,394	0,312	0,029	1,219	41,78
Tarassaco	2018	III	174,94	0,20	48,03	26,74	0,019	0,205	0,231	0,500	16,000	198,63	63,00	3,611	0,194	0,016	0,540	72,13
Tarassaco	2018	IV	504,45	0,84	25,22	24,87	0,050	0,157	0,400	1,233	9,856	548,01	68,90	4,294	1,466	0,018	1,958	51,09
Indivia	2018	IV	349,14	1,06	28,25	21,46	0,043	0,285	0,470	0,772	7,253	411,28	62,98	3,111	1,028	0,019	1,784	89,90
Bietola	2019	I	154,68	0,23	17,93	9,55	0,020	0,198	0,173	0,389	7,539	155,11	44,46	0,814	0,277	0,034	0,541	71,78
Tarassaco	2019	I	421,69	0,56	24,93	23,28	0,041	0,188	0,249	1,998	7,899	394,49	35,60	1,355	0,543	0,026	1,407	40,58
Lattuga	2019	I	34,00	0,23	24,66	16,98	0,003	0,100	0,121	0,192	5,579	54,33	31,66	0,968	0,103	0,003	0,242	28,04
Tarassaco	2019	II	111,57	0,45	34,15	21,06	0,011	0,107	0,116	1,698	5,204	123,11	28,82	1,140	0,377	0,016	0,542	59,69
Bietola	2019	II	125,06	0,42	27,84	31,18	0,015	0,187	0,565	0,564	10,102	147,96	51,84	1,702	0,266	0,008	0,618	68,13
Bietola	2019	III	33,56	0,17	18,94	66,11	0,007	0,363	0,092	0,226	6,835	68,99	125,52	1,130	0,153	0,043	0,181	47,02
Tarassaco	2019	III	30,78	0,25	31,82	15,30	0,007	0,141	0,096	1,166	13,075	77,59	49,34	1,053	0,166	0,014	0,198	69,22
Lattuga	2019	III	30,58	0,25	24,42	24,37	0,006	0,172	0,125	0,262	16,233	91,68	27,43	2,423	0,174	0,003	0,229	91,41
Tarassaco	2019	IV	453,85	0,22	64,86	40,85	0,043	0,308	0,231	0,719	14,276	300,66	84,82	1,612	0,844	0,044	1,116	138,01

Lattuga	2019	IV	614,57	0,19	21,25	36,94	0,049	0,281	0,202	1,037	13,941	380,56	28,89	1,765	0,597	0,027	1,437	108,76
Lattuga	2020	I	767,85	0,54	25,86	33,08	0,143	0,246	0,530	2,578	13,667	1083,26	70,82	4,809	1,663	0,053	3,691	76,80
Indivia	2020	I	921,46	0,31	14,45	20,50	0,073	0,157	0,252	1,478	11,872	625,16	54,56	2,645	1,293	0,013	0,715	96,37
Bietola	2020	I	1413,47	0,41	17,03	32,49	0,115	0,137	0,349	2,377	13,588	983,09	54,76	4,128	1,229	0,003	0,212	70,93
Tarassaco	2020	I	979,12	0,36	28,68	24,97	0,078	0,205	0,270	1,577	9,869	640,83	56,72	2,596	0,809	0,029	1,988	117,81
Tarassaco	2020	II	168,61	0,11	20,45	6,41	0,010	0,061	0,056	0,313	14,226	129,42	90,69	0,656	0,143	0,003	0,306	38,34
Bietola	2020	II	259,41	0,07	21,09	162,68	0,016	0,447	0,169	0,420	12,305	144,20	572,35	1,176	0,186	0,003	0,522	56,14
Brassica	2020	II	89,97	0,17	17,94	38,54	0,003	0,252	0,069	0,359	2,531	68,45	75,90	0,389	0,062	0,011	0,302	129,94
Lattuga	2020	II	300,42	0,17	12,55	29,44	0,017	0,418	0,093	0,560	10,897	228,28	143,92	1,428	0,218	0,010	0,958	155,13
Indivia	2020	II	365,08	0,28	16,80	8,60	0,023	0,197	0,108	0,576	11,049	263,73	85,99	1,266	0,214	0,003	0,195	63,05
Bietola	2020	III	142,41	0,06	18,35	58,00	0,013	0,168	0,083	0,309	9,381	104,25	240,70	0,805	0,202	0,003	0,274	68,81
Lattuga	2020	III	120,24	0,06	15,48	15,98	0,008	0,175	0,179	0,312	12,763	121,87	93,22	1,100	0,228	0,009	0,136	30,53
Brassica	2020	III	123,89	0,15	14,73	27,82	0,006	0,197	0,081	0,244	5,039	101,84	73,74	0,935	0,115	0,145	0,115	12,38
Brassica	2020	IV	118,38	0,03	14,69	10,64	0,003	0,078	0,033	0,227	2,431	54,22	15,20	0,557	0,105	0,365	0,025	11,07
Lattuga	2020	IV	119,83	0,04	18,17	26,40	0,007	0,215	0,166	0,292	9,706	88,39	143,88	0,632	0,185	0,003	0,078	28,55
Bietola	2020	IV	474,74	0,15	16,47	57,15	0,039	0,116	0,139	0,788	5,038	309,30	167,04	1,360	0,417	0,010	1,719	36,62
Indivia	2020	IV	241,11	0,10	11,89	5,65	0,015	0,103	0,088	0,431	8,295	174,54	36,76	1,010	0,218	0,006	0,482	16,19

**Tabella 43.** Dati relativi ai metalli, al boro e all'arsenico nei 71 campioni di vegetali prelevati nel sito di monitoraggio di Lamiola nel periodo 2015-2020. In rosso sono evidenziati i valori inferiori ai limiti di quantificazione, trattati secondo il criterio medium-bound.

Ai fini dell'elaborazione statistica qui presentata sono stati presi in considerazione i dati relativi al solo quinquennio 2016-2020 (57 campioni), escludendo quindi quelli riferiti all'anno 2015 per gli stessi motivi indicati per le matrici trattate nei precedenti capitoli.

### Risultati e discussione

Dall'analisi delle componenti principali risulta che nelle prime tre componenti si concentra circa il 62% della varianza dei dati. Le componenti PC1 e PC2 descrivono entrambe più del 20% della varianza, mentre il contributo della componente PC3 è poco inferiore al 10% (figura 77).

Per quanto riguarda la relazione tra le variabili analitiche e le componenti principali, la figura 78 mostra i contributi delle variabili alle prime tre componenti principali. La componente PC1 raccoglie le variabili descrittive degli IPA, mentre le componenti PC2 e PC3 descrivono in modo complementare l'una all'altra la maggior parte delle specie metalliche: la componente PC2 riceve i principali contributi da alluminio, berillio, cobalto, cromo, ferro, piombo e vanadio, mentre la componente PC3 descrive principalmente bario, cadmio e manganese.

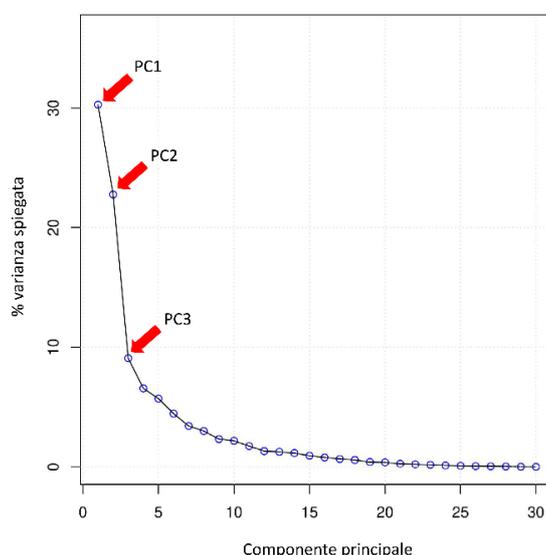
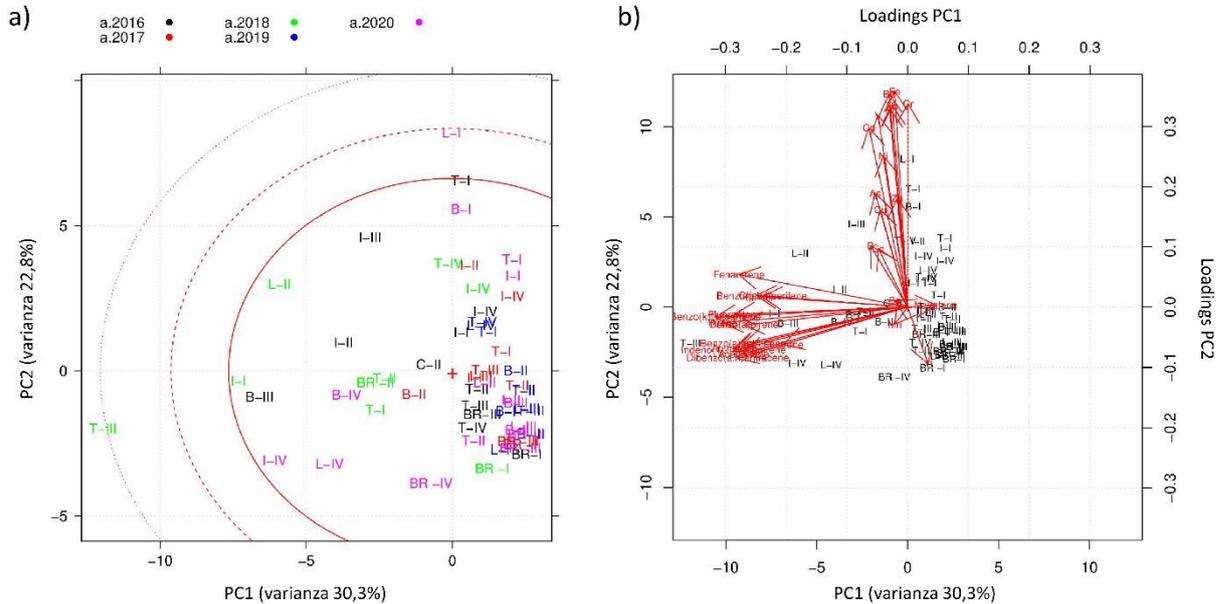


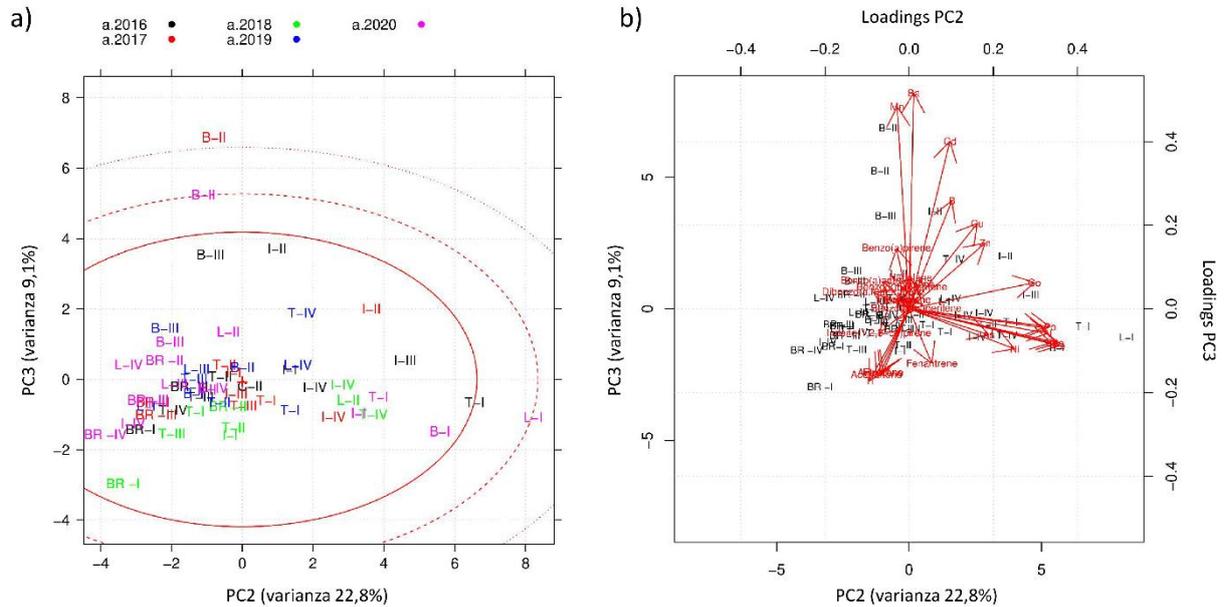
Figura 77. Distribuzione della varianza fra le componenti principali, con evidenziazione delle prime tre componenti.



Analoghe considerazioni valgono anche per la rappresentazione dei dati nel piano delle componenti PC2/PC3 (figura 80).

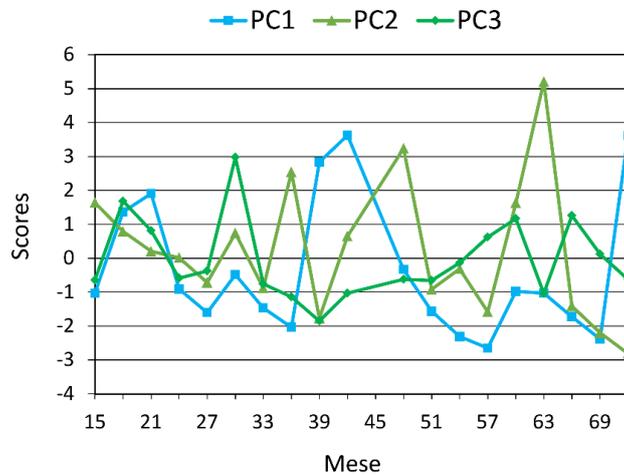


**Figura 79.** a) Rappresentazione grafica dei dati nel piano individuato dalle componenti principali PC1 e PC2 (score-plot). L'origine degli assi rappresenta il vettore delle medie dei dati. I dati sono caratterizzati da una sigla in cui la parte letterale indica la specie vegetale (B=Bietola; BR=Brassica; C=Cicoria; I=Indivia; L=Lattuga; T=Tarassaco) e il numerale romano il trimestre dell'anno solare (I, II, III, IV) in cui è stato effettuato il campionamento, mentre il colore indica l'anno solare, come illustrato dalla didascalia interna. Le ellissi presenti nel grafico e marcate con linee rosse piene e tratteggiate delimitano, dall'interno verso l'esterno, le aree corrispondenti ai livelli di confidenza del 95%, 99% e 99,9% nella distribuzione  $T^2$  della varianza. b) Rappresentazione grafica simultanea dei dati e delle variabili analitiche nel piano delle componenti principali PC1 e PC2 (bi-plot). I loadings sono i coefficienti numerici normalizzati che descrivono il contributo delle variabili originali alla determinazione delle componenti principali.



**Figura 80.** a) Rappresentazione grafica dei dati nel piano individuato dalle componenti principali PC2 e PC3 (score-plot). L'origine degli assi rappresenta il vettore delle medie dei dati. I dati sono caratterizzati da una sigla in cui la parte letterale indica la specie vegetale (B=Bietola; BR=Brassica; C=Cicoria; I=Indivia; L=Lattuga; T=Tarassaco) e il numerale romano il trimestre dell'anno solare (I, II, III, IV) in cui è stato effettuato il campionamento, mentre il colore indica l'anno solare, come illustrato dalla didascalia interna. Le ellissi presenti nel grafico e marcate con linee rosse piene e tratteggiate delimitano, dall'interno verso l'esterno, le aree corrispondenti ai livelli di confidenza del 95%, 99% e 99,9% nella distribuzione  $T^2$  della varianza. b) Rappresentazione grafica simultanea dei dati e delle variabili analitiche nel piano delle componenti principali PC2 e PC3 (bi-plot). I loadings sono i coefficienti numerici normalizzati che descrivono il contributo delle variabili originali alla determinazione delle componenti principali.

Se si riportano in un grafico cartesiano (figura 81) le medie, calcolate per ogni mese di campionamento, delle prime tre componenti principali dei dati, si osserva, per quanto riguarda la componente PC1, un andamento che presenta due intervalli di valori più elevati (mesi 18-21 e mesi 39-42) e un valore elevato all'ultimo mese monitorato (mese 72); l'andamento della componente PC2 è caratterizzato da valori più elevati negli intervalli 42-48 e 60-63, mentre la componente PC3, eccetto che nel punto isolato al mese 30, presenta valori positivi di lieve entità. Si tratta di profili di variazione abbastanza frastagliati, che nel caso dei metalli non consentono di leggere tendenze consolidate su una scala temporale ampia. Nel caso degli IPA, i valori più elevati osservati nei mesi 18-21 (primavera-estate 2016) e 39-42 (inverno-primavera 2018) evidenziano due periodi, in entrambi i casi di durata semestrale, in cui tre delle specie vegetali coinvolte nel monitoraggio (brassica, tarassaco e indivia) hanno visto una crescita considerevole della concentrazione della maggior parte degli analiti. Dovranno essere invece valutati alla luce dei dati futuri i valori elevati rilevati nei campioni del mese 72.



**Figura 81.** Rappresentazione delle medie, calcolate per ciascun mese di campionamento, dei valori (scores) delle componenti principali PC1, PC2 e PC3 dei dati. La numerazione progressiva dei mesi si intende a partire dall'1 gennaio 2015. Gli scores della componente PC1 sono stati cambiati di segno. È stato escluso dal calcolo delle medie il dato anomalo T-III dell'anno 2018 (mese 45).

Per quanto riguarda infine le differenze tra le specie vegetali in termini di accumulazione degli analiti, si può osservare in figura 82 che le differenze riguardano soprattutto i metalli (componente PC2), ma che per tutti gli analiti l'indivia e la brassica sono, rispettivamente, la specie che presenta i livelli di accumulo maggiori e quella con i livelli minori; inoltre, mentre il comportamento dell'indivia non si distingue significativamente da quello di lattuga, tarassaco e bietola, la brassica si differenzia più spiccatamente dalle altre specie.



#### 4.11 Monitoraggio dei metalli pesanti nel grano

Per ogni anno di monitoraggio è stato prelevato un campione di grano in un campo attiguo alla centralina Lamiola in piena maturazione e su tale campione è stata effettuata la determinazione dei metalli pesanti. Negli anni dal 2015 al 2020 sono stati analizzati sei campioni di grano il cui profilo delle concentrazioni dei metalli pesanti viene riportato nel grafico di figura 83.

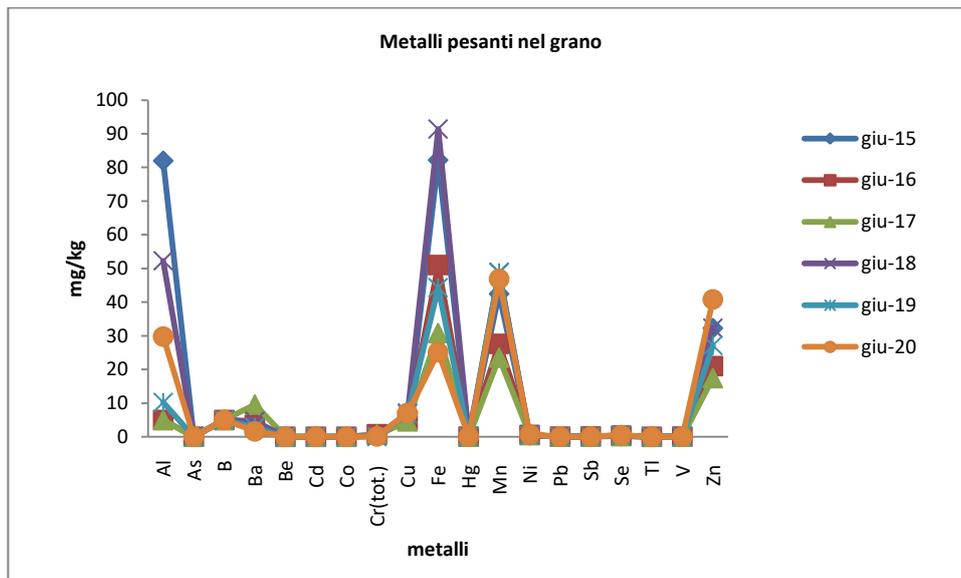
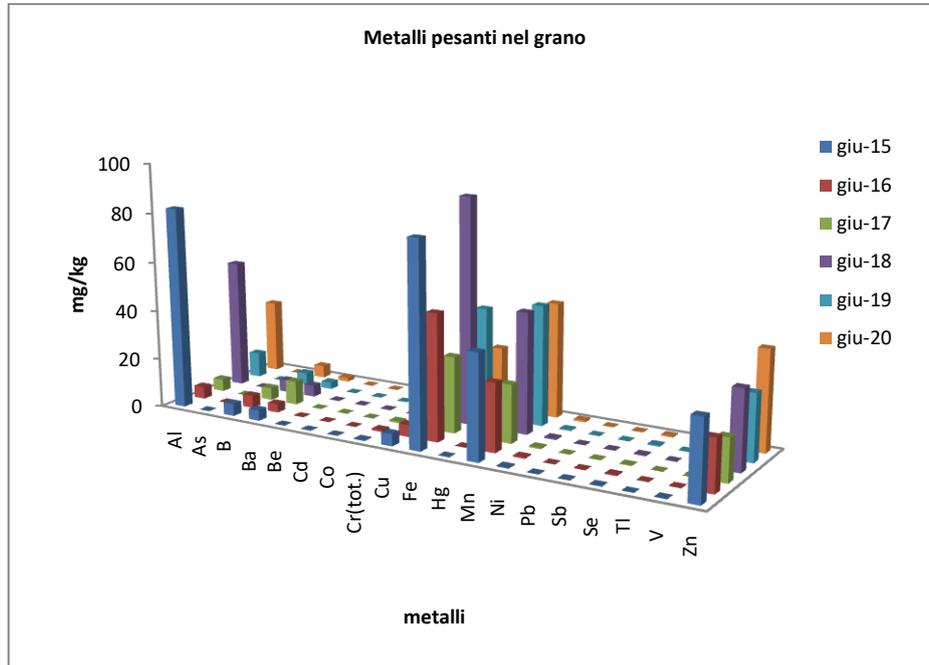


Figura 83. Profilo della concentrazione dei metalli pesanti riscontrati nei campioni di grano prelevati dal 2015 al 2020

L'andamento nei sei anni di monitoraggio rimane sempre invariato. Non ci sono tenori massimi previsti per i metalli per questa matrice, ma come si vede dal grafico di figura 84, non è stata rilevata nel corso degli anni presenza di metalli tossici quali ad esempio cadmio, piombo e mercurio.



**Figura 84.** Grafico a barre riportante i valori di contrazione dei metalli riscontrati nei campioni di grano

#### 4.12 Monitoraggio dei metalli pesanti nel suolo



Figura 85. Essiccazione e frantumazione di un campione di suolo



Figura 86. Aliquote campione di suolo pronte per l'analisi

In quest'ultimo capitolo vengono studiati i risultati ottenuti dalla determinazione dei metalli in campioni di suolo prelevati dal 2015 al 2020 nell'ambito del piano di Monitoraggio e Controllo.

Il piano di campionamento per il suolo prevede due campionamenti annuali da effettuare in due direzioni diverse, quella del centro abitato che si presuppone più soggetto alle ricadute degli inquinanti (Lavello) e quella dei venti dove si presuppone le ricadute siano maggiori. Per ogni direzione sono previsti campionamenti a due profondità (0,1m e 0,5m rispettivamente) e a tre diverse distanze (750-1000-1500).

Sono stati prelevati nell'arco di questi sei anni di monitoraggio 72 campioni di suolo su cui sono stati determinati un ampio spettro di metalli di questi solo alcuni sono normati. Nei grafici delle figura da 87 a 102 riportate successivamente, viene rappresentato un istogramma che riporta i valori di concentrazione dei metalli di tutti i campionamenti effettuati a partire dal 2015 fino ai campionamenti del 2020 in funzione delle diverse distanze dal punto di emissione e delle diverse profondità dei suoli.

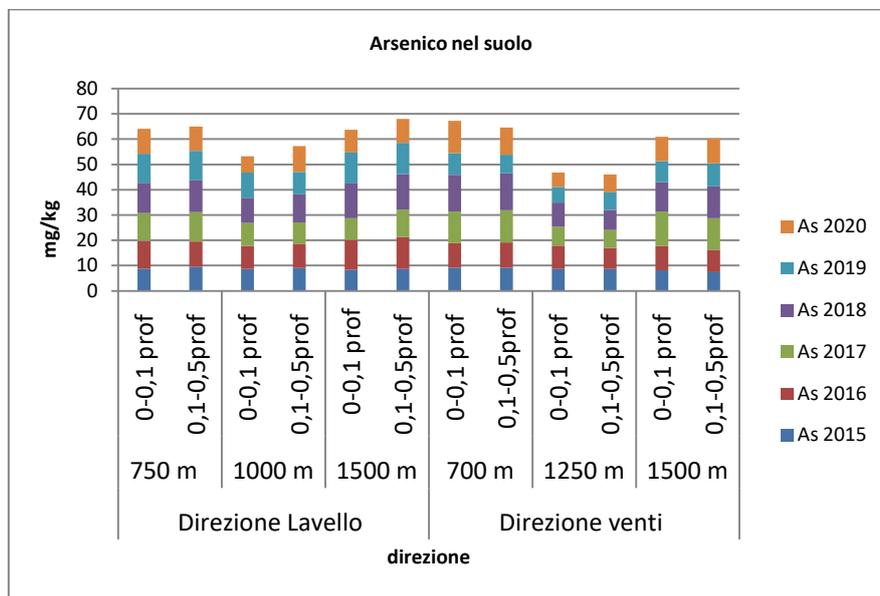


Figura 87. Concentrazione di arsenico nei suoli prelevati nella direzione Lavello e Venti prevalenti dal 2015 al 2020

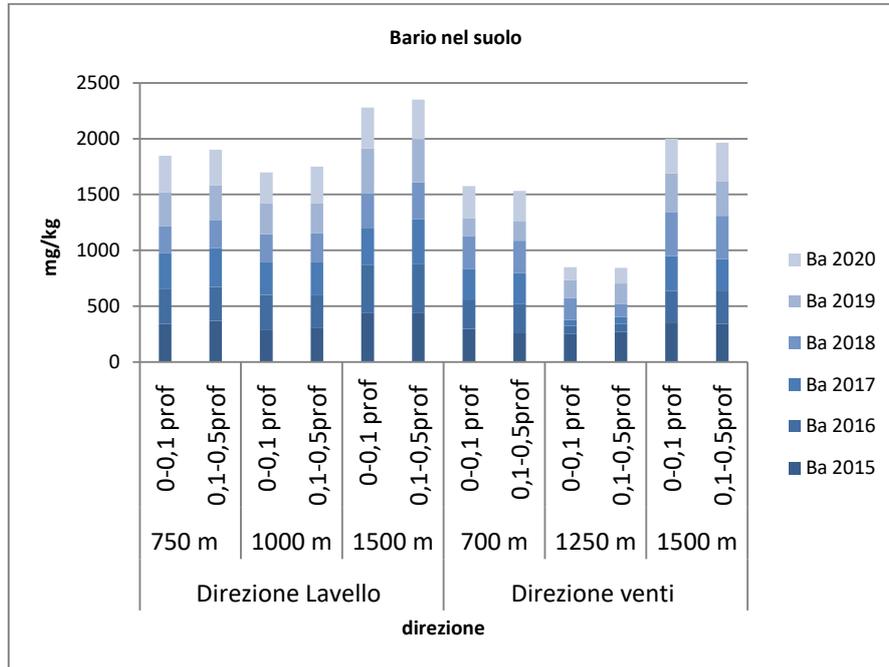


Figura 88. Concentrazione di bario nei suoli prelevati nella direzione Lavello e Venti prevalenti dal 2015 al 2020

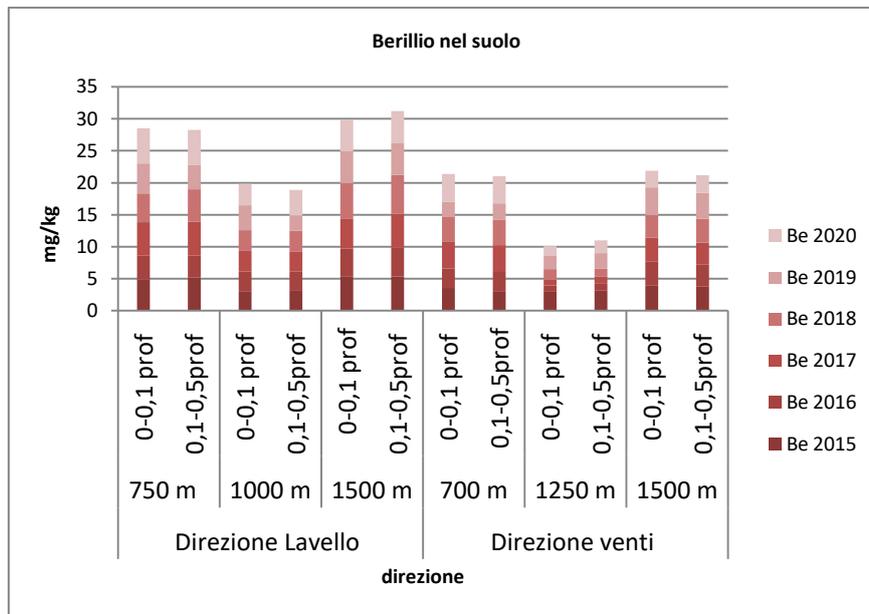


Figura 89. Concentrazione di berillio nei suoli prelevati nella direzione Lavello e Venti prevalenti dal 2015 al 2020

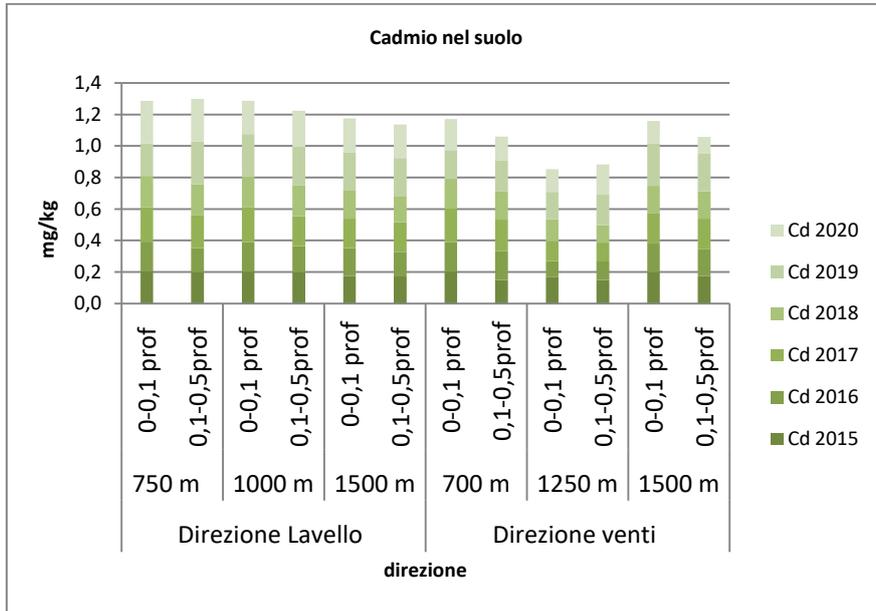


Figura 90. Concentrazione di cadmio nei suoli prelevati nella direzione Lavello e Venti prevalenti dal 2015 al 2020

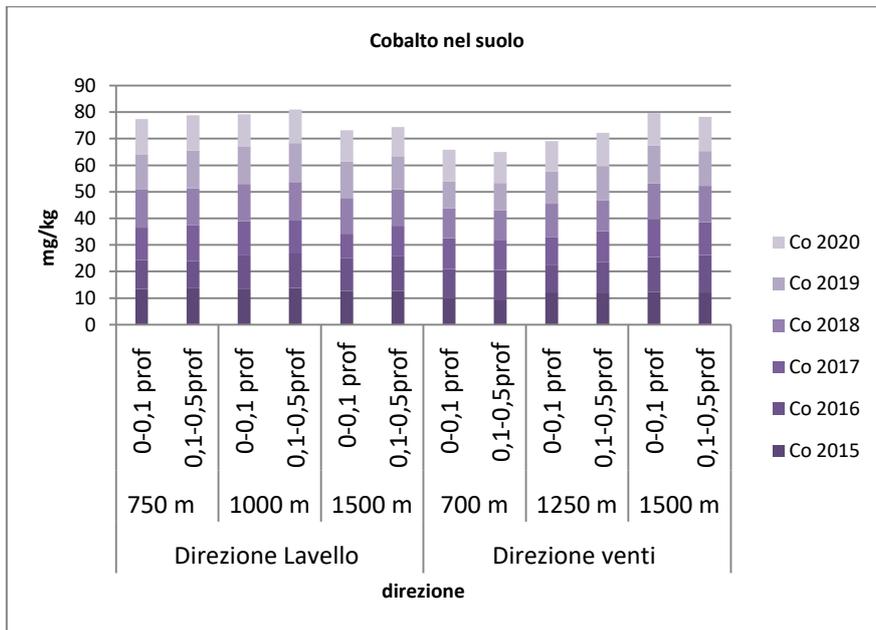


Figura 91. Concentrazione di cobalto nei suoli prelevati nella direzione Lavello e Venti prevalenti dal 2015 al 2020

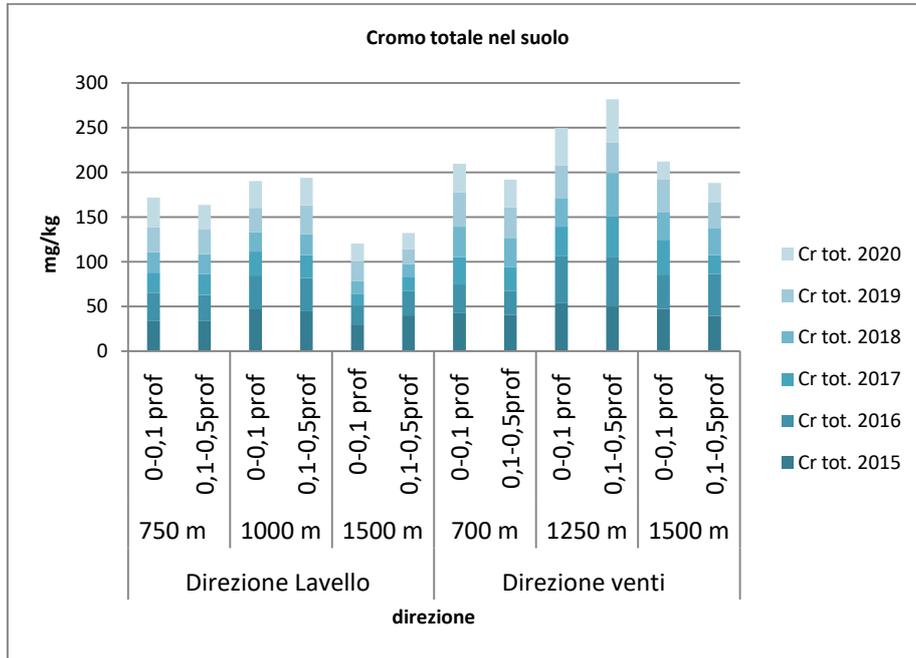


Figura 92. Concentrazione di cromo totale nei suoli prelevati nella direzione Lavello e Venti prevalenti dal 2015 al 2020

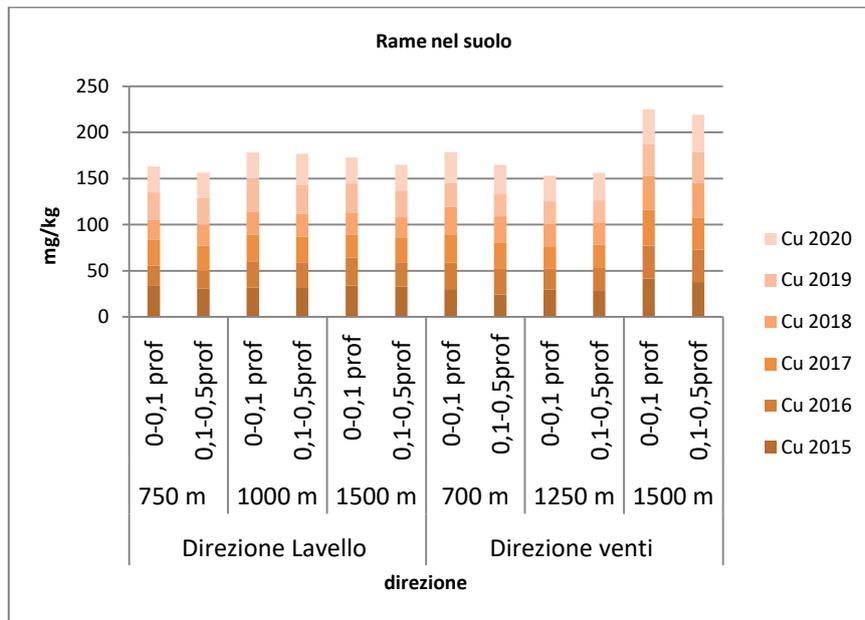


Figura 93. Concentrazione di rame nei suoli prelevati nella direzione Lavello e Venti prevalenti dal 2015 al 2020

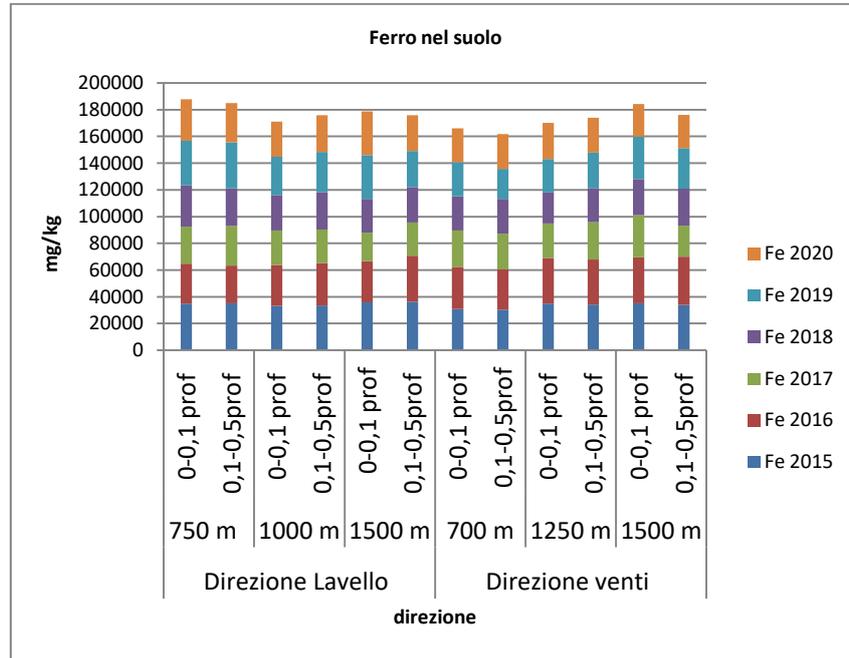


Figura 94. Concentrazione di ferro nei suoli prelevati nella direzione Lavello e Venti prevalenti dal 2015 al 2020

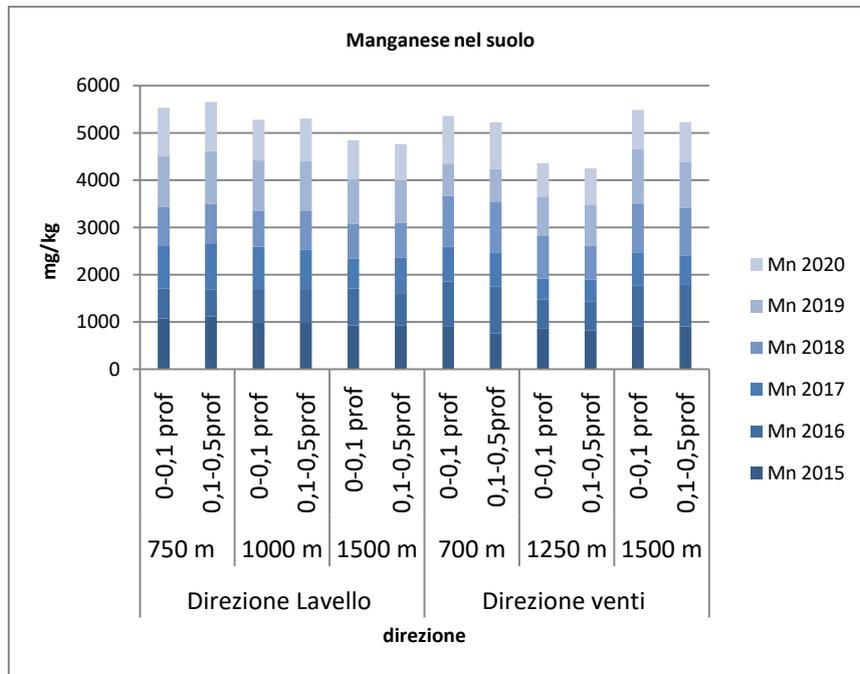


Figura 95. Concentrazione di manganese nei suoli prelevati nella direzione Lavello e Venti prevalenti dal 2015 al 2020

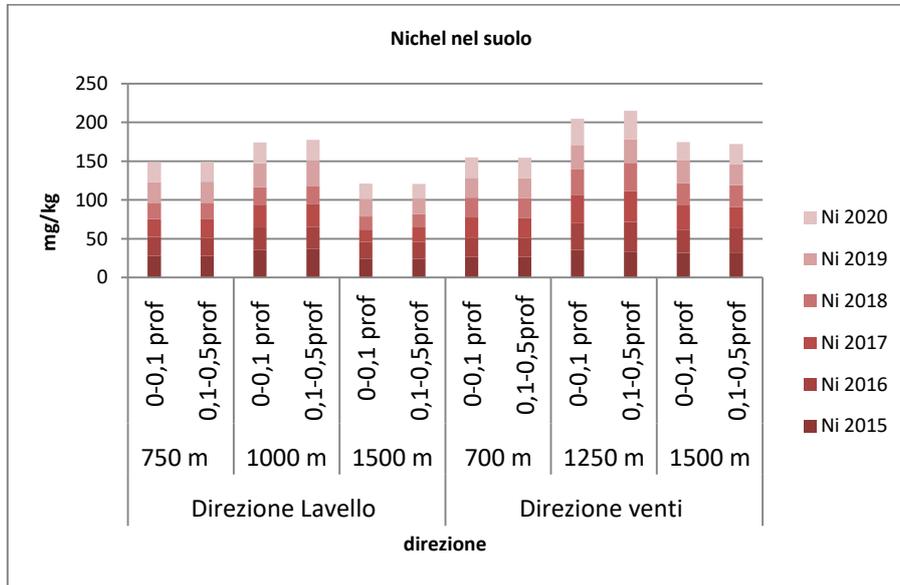


Figura 96. Concentrazione di nichel nei suoli prelevati nella direzione Lavello e Venti prevalenti dal 2015 al 2020

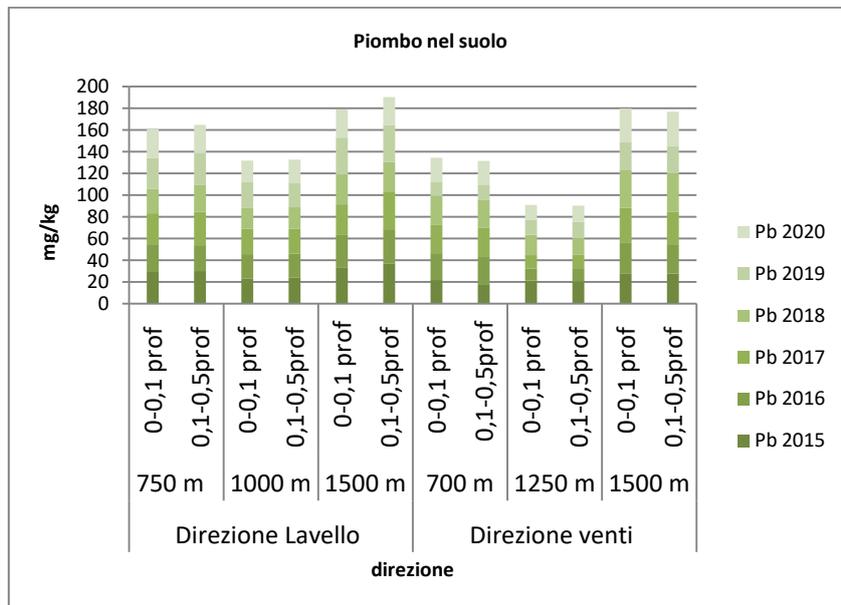


Figura 97. Concentrazione di piombo nei suoli prelevati nella direzione Lavello e Venti prevalenti dal 2015 al 2020

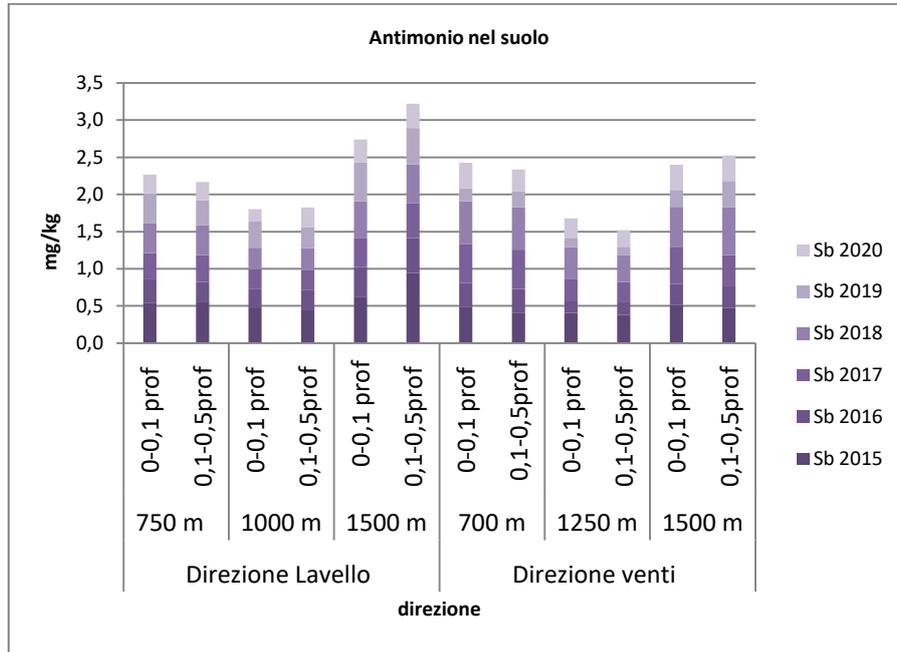


Figura 98. Concentrazione di antimonio nei suoli prelevati nella direzione Lavello e Venti prevalenti dal 2015 al 2020

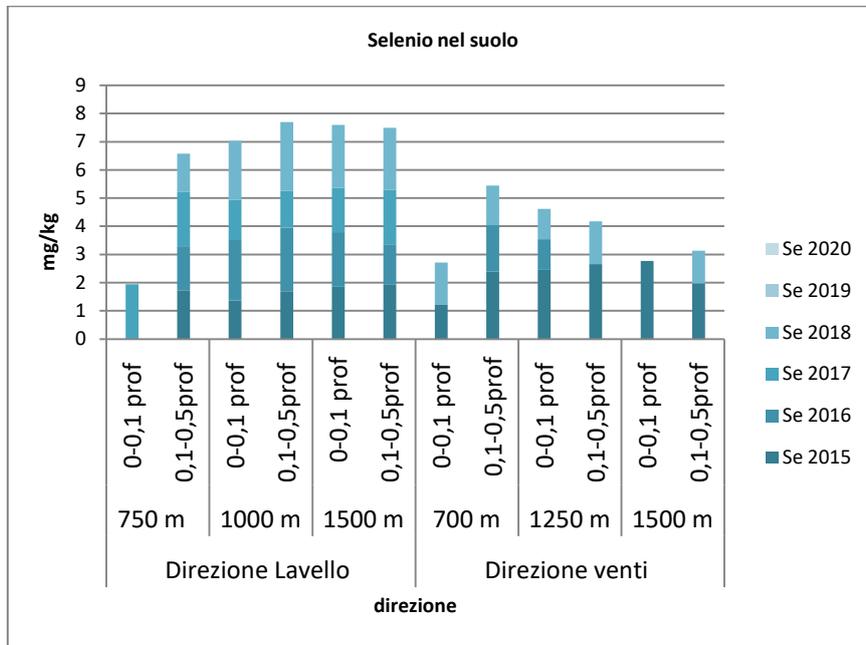


Figura 99. Concentrazione di selenio nei suoli prelevati nella direzione Lavello e Venti prevalenti dal 2015 al 2020

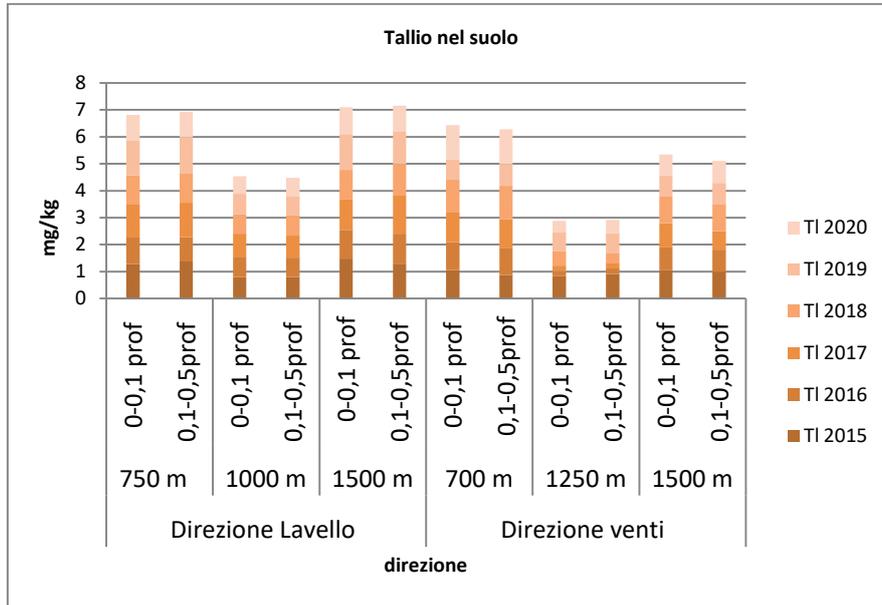


Figura 100. Concentrazione di tallio nei suoli prelevati nella direzione Lavello e Venti prevalenti dal 2015 al 2020

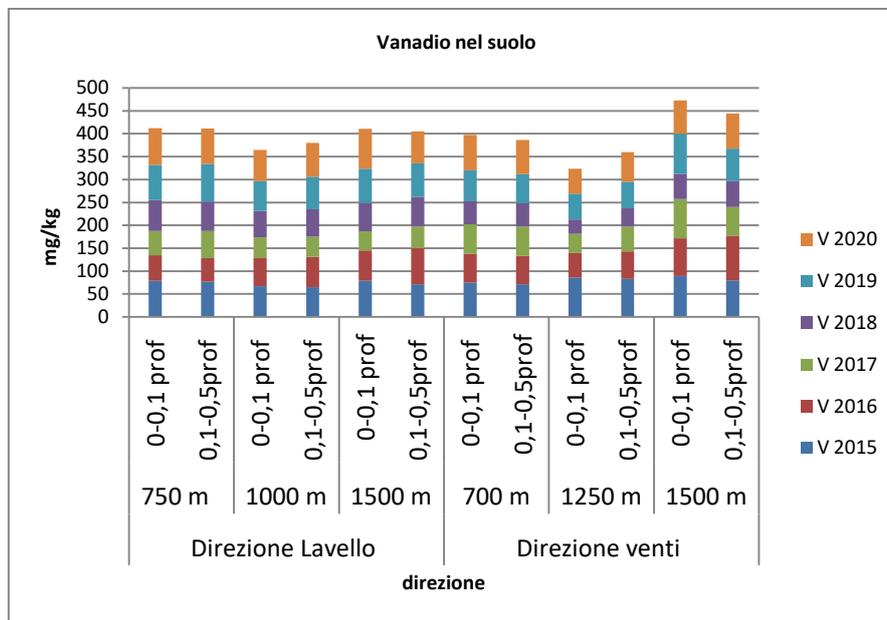


Figura 101. Concentrazione di vanadio nei suoli prelevati nella direzione Lavello e Venti prevalenti dal 2015 al 2020

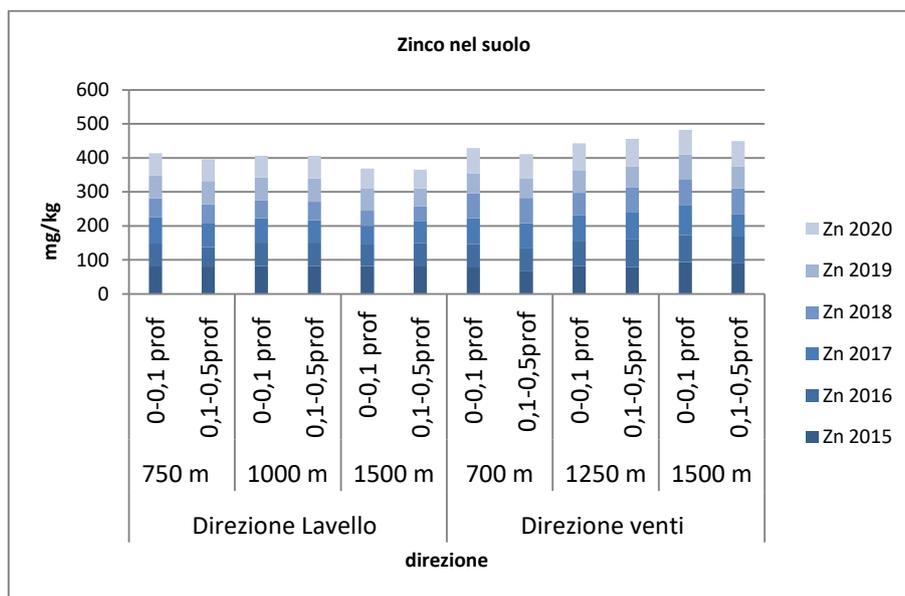


Figura 102. Concentrazione di zinco nei suoli prelevati nella direzione Lavello e Venti prevalenti dal 2015 al 2020

Osservando gli istogrammi riportati sui metalli nei suoli si nota che le concentrazioni misurate, considerata l'incertezza di misura del dato analitico, non sembrano essere correlate alla distanza dall'impianto, così come non risultano evidenti sostanziali differenze tra le due direzioni, Lavello e venti, e neppure tra i vari anni in cui sono state eseguite le misure.

In numerosi casi si osservano superamenti rispetto al Limite di Legge Allegato V Tabella 1 Colonna A (siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale) del D.Lgs152/2006 per il Berillio e anche qualche superamento per il Tallio. Non ci sono mai superamenti per la Colonna B (Siti ad uso Commerciale e Industriale).

I risultati per il Cromo esavalente ed il mercurio sono sempre inferiori al limite di rivelabilità, anche il selenio è molto spesso inferiore al limite di rivelabilità, mentre per il Manganese e Ferro non esistono valori guida per i suoli .

## 5. Considerazioni conclusive

Il monitoraggio delle matrici di origine animale e vegetale condotto nel corso del sessennio 2015-2020 nell'area del termovalorizzatore di Melfi (PZ) ha permesso di valutare l'impatto di tale attività industriale sulle differenti matrici ambientali. Come ampiamente descritto nella relazione l'impatto delle attività dell'impianto di Termovalorizzazione di S.Nicola di Melfi è stato determinato utilizzando bioindicatori. L'impatto sulla matrice aria è stato studiato utilizzando licheni della specie *Evernia prunasti* che da letteratura è dimostrato essere un ottimo bioindicatore per le sue caratteristiche intrinseche come l'assenza di cuticola che favorisce il contatto diretto con l'atmosfera.

Inoltre è una specie utilizzabile tutto l'anno per effetto della sua resistenza anche a condizioni climatiche abbastanza severe non va nutrita in quanto nutrimento e riproduzione sono essenzialmente dipendenti dal contatto con l'atmosfera

Il dato più rilevante che emerge dall'analisi dei risultati dei metalli sui campioni di licheni è che i valori della maggior parte degli analiti risultano più elevati rispetto a quelli dei corrispondenti bianchi. Disaggregando i dati per stagione e per sito di monitoraggio è stato osservato inoltre che tale differenza è più accentuata nei valori relativi alla stagione estiva e riguarda in modo particolare, tra i cinque siti monitorati, quello di Favullo. Nell'arco di tempo quinquennale (2016-2020) su cui si è basata questa analisi non risulta comunque una tendenza consolidata all'aumento dei parametri oggetto di monitoraggio.

Altra specie vegetale utilizzata per studiare il comparto aria è il tarassaco, *Taraxacum officinale*. Per effetto delle analisi sull'accumulo nelle radici tale specie rappresenta anche un ottimo indicatore del suolo. Infatti del tarassaco vengono prelevate integralmente foglie e radici, che hanno una diversa modalità di assorbimento dei contaminanti: radice per il suolo e foglie per l'aria. L'analisi multivariata dei dati del monitoraggio dei metalli di questa matrice su campioni di prelevati in cinque siti ha evidenziato che le due matrici *foglie* e *radici* presentano, in modo riconoscibile rispetto agli altri fattori di variabilità dei dati, una differente distribuzione degli analiti. Dal punto di vista dell'evoluzione temporale dei dati medi dei cinque siti di monitoraggio, l'analisi dei dati ha rilevato in ambedue le matrici una zona di valori più elevati tra la seconda metà dell'anno 2017 e la prima metà dell'anno successivo e un tendenziale aumento nell'anno 2020. Dal

punto di vista delle differenze tra i siti, si è evidenziato che, pur essendo tali differenze non significative se confrontate con la varianza dell'insieme dei dati, i siti di Rendina e di Bizzarro presentano valori più elevati con riferimento alla maggior parte degli analiti monitorati.

Accanto a questi organismi vegetali è stato utilizzato anche un organismo animale considerato un eccellente bioindicatore: l'*Apis mellifera*. Inoltre sono state studiate anche il miele e la cera.

Le api rappresentano un ottimo indicatore della qualità dell'aria in quanto durante l'attività di bottinamento la rende un organismo con uno stretto rapporto con il territorio circostante.

Gli analiti ricercati nelle predette matrici sono oltre ai metalli pesanti anche gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA). L'analisi multivariata dei dati del monitoraggio degli IPA e dei metalli condotto nel periodo 2016-2020 su campioni di *Apis mellifera* prelevati nei cinque siti di monitoraggio non ha consentito di rilevare tendenze significative su base stagionale e annuale nell'andamento dei valori degli analiti oggetto di indagine. Non risultano inoltre fenomeni rilevanti nella distribuzione degli analiti fra i diversi siti di indagine. Infine, l'analisi dei rapporti tra gli analiti in esame non ha rivelato correlazioni significative tra le due classi principali di variabili IPA e metalli. La matrice miele non ha mostrato accumulo di inquinanti come IPA e metalli. La gran parte dei dati, infatti, è risultata inferiore al nostro limite di quantificazione, per cui non è stato possibile effettuare una elaborazione statistica o un confronto fra i dati. Anche l'analisi multivariata dei dati del monitoraggio degli IPA condotto su campioni di cera d'api prelevati nei cinque siti di monitoraggio non ha rilevato nel corso del tempo tendenze consolidate di aumento o diminuzione dei valori degli analiti oggetto di indagine. Inoltre, considerando le medie dei dati raccolti nei singoli siti di monitoraggio, non è emersa alcuna differenza significativa fra i siti in termini di distribuzione degli analiti. Altro indicatore utilizzato è la lenticchia d'acqua o *Lemna minor*. L'analisi multivariata dei dati del monitoraggio dei metalli su campioni di *Lemna minor* prelevati nei cinque siti di monitoraggio ha mostrato andamenti temporali sostanzialmente congruenti tra i dati relativi ai campioni e quelli relativi ai bianchi. Le tendenze osservate su base temporale riflettono le caratteristiche intrinseche dei campioni utilizzati nel monitoraggio piuttosto che gli effetti dell'esposizione ambientale. Non risultano differenze tra i siti di indagine né tendenze consolidate nel tempo che indichino un aumento dei valori dei parametri monitorati.

Le matrici alimentari prese in considerazione sono state il latte ovino, le uova di pollo e il grano. Riportando in grafico i risultati dei metalli nel latte ovino otteniamo un profilo pressoché identico nel corso dei sei anni di monitoraggio. Non si è mai riscontrata presenza di metalli tossici come arsenico, cadmio, piombo e mercurio, e il metallo presente in maggiore concentrazione è lo Zinco in quanto naturalmente costituente tale matrice.

Per quanto riguarda analiti come diossine, furani e PCB nel periodo che ricopre un arco temporale di sei anni, non sono stati riscontrati superamenti rispetto ai valori riportati nel “Regolamento (CE) N.1881/2006 della Commissione del 19 dicembre 2006 che definisce i tenori massimi di alcuni contaminati nei prodotti alimentari” e successiva modifica “Regolamento (UE) N. 1259/2011 della Commissione del 2 dicembre 2011 che modifica il regolamento (CE) N.1881/2006 per quanto riguarda i tenori massimi per i PCB diossina-simili e i PCB non diossina-simili nei prodotti alimentari”. I valori riscontrati sono anche al di sotto di quelli indicati dalla Raccomandazioni della Commissione Europea 2013/711/UE, sulla riduzione della presenza di diossine, furani e PCB nei mangimi e negli alimenti.

Per la matrice uova negli anni di monitoraggio dal 2015 al 2020, l’analisi di diossine, furani e PCB non ha mai dato superamenti rispetto ai valori riportati nel “Regolamento (CE) N.1881/2006 della Commissione del 19 dicembre 2006 che definisce i tenori massimi di alcuni contaminati nei prodotti alimentari” e successiva modifica “Regolamento (UE) N. 1259/2011 della Commissione del 2 dicembre 2011 che modifica il regolamento (CE) N.1881/2006 per quanto riguarda i tenori massimi per i PCB diossina-simili e i PCB non diossina-simili nei prodotti alimentari”. In un solo campione prelevato nel 2015 è stato riscontrato un valore su cui porre “attenzione”, secondo la Raccomandazioni della Commissione Europea 2013/711/UE per la somma di diossine. Questa situazione successivamente non si è più ripetuta.

Per la matrice orto l’analisi multivariata dei dati del monitoraggio degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), dei metalli e degli elementi non-metallici boro e arsenico condotto nel periodo 2016-2020 su campioni di sei diverse specie vegetali prelevati nel sito di Lamiola (PZ) ha evidenziato un intervallo temporale tra la primavera e l’estate dell’anno 2018 in cui i valori di IPA sono significativamente più elevati della media delle rilevazioni effettuate nell’arco del

quinquennio. Un analogo aumento rilevato in occasione dell'ultimo campionamento, effettuato nell'autunno 2020, dovrà essere valutato alla luce dei dati dell'anno successivo. Nel caso dei metalli non sono emerse invece tendenze consolidate di aumento o diminuzione. Per quanto riguarda la distribuzione degli analiti tra le diverse specie vegetali, si è osservata una differenziazione tra la brassica e le altre specie, in quanto la brassica presenta livelli di accumulo inferiori a quelli, tra loro vicini, osservati nelle altre tipologie di vegetali.

Per la matrice grano l'andamento nei sei anni di monitoraggio rimane sempre invariato. Non ci sono tenori massimi previsti per i metalli per questa matrice, ma non è stata rilevata nel corso degli anni presenza di metalli tossici quali ad esempio cadmio, piombo e mercurio.

Per l'analisi dei metalli nei suoli si nota che le concentrazioni misurate, considerata l'incertezza di misura del dato analitico, non sembrano essere correlate alla distanza dall'impianto, così come non risultano evidenti sostanziali differenze tra le due direzioni, Lavello e venti, e neppure tra i vari anni in cui sono state eseguite le misure. In numerosi casi si osservano superamenti rispetto al Limite di Legge Allegato V Tabella 1 Colonna A (siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale) del D.Lgs152/2006 per il Berillio e anche qualche superamento per il Tallio. Non ci sono mai superamenti per la Colonna B (Siti ad uso Commerciale e Industriale).

Dallo studio di tutti i comparti ambientali utilizzando il monitoraggio di specie animali e vegetali si può dunque avere uno schema complessivo della situazione ambientale della zona che circonda l'area industriale. Alcune matrici, come i licheni e il tarassaco e anche le matrici dell'orto sembrano avere negli anni una leggera tendenza all'aumento, ma questi dati richiedono un approfondimento e andrebbero confortati da studi di valori di fondo. Tutti i dati si attestano comunque al di sotto di valori che possono generare preoccupazioni per la salute ambientale e non ci sono rilevanze di presenza di inquinanti tossici, esclusi appunto valori che si attestano ai livelli scientificamente noti di concentrazioni di sostanze ubiquitarie.

### Ringraziamenti

Si ringraziano tutti i colleghi che hanno partecipato direttamente o indirettamente al lavoro qui presentato.

### Bibliografia

- Regolamento (CE) N.1881/2006 della Commissione del 19 dicembre 2006
- Regolamento (UE) N. 1259/2011 della Commissione del 2 dicembre 2011 che modifica il regolamento (CE) N.1881/2006
- Raccomandazione della Commissione Europea 2013/711/UE
- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152
- *Vermaat et al., 1998*
- *Migliore et al., 2001*
- *Kleckerová, A. and Dočekalová, 2014*
- *Pinzauti e Felicioli, 1998*
- <http://www.gruppochemiometria.it/index.php/software>
- Todeschini, R. (2010). *Introduzione alla chemiometria*. EdISES