



**Dipartimento Regionale Laboratori  
Servizio Laboratorio Provinciale di Treviso**

BIOMONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA  
NEL COMUNE DI PEDEROBBA (TV)  
mediante l'utilizzo di moss-bags  
(2008-2009)

BIOMONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA  
NEL COMUNE DI PEDEROBBA (TV)  
mediante l'utilizzo di moss-bags  
(2008-2009)



**Dipartimento Regionale Laboratori**  
**Servizio Laboratorio Provinciale di Treviso**

---

**Direttore del Dipartimento Regionale Laboratori**

Dr. Pierluigi Mozzo

**Responsabile del Servizio Laboratorio Provinciale di Treviso**

Dr.ssa Marina Raris

***Allestimento ed esposizione dei moss-bags***

Dr. Gianluca Girardi\*, Dr.ssa Silvia Menegon, Dr.ssa Elena Ortolani

\* Servizio Laboratorio Prov. di Treviso fino al 31.03.2009, Servizio Laboratorio Prov. di Venezia dal 01.04.2009

***Analisi chimiche***

Dr. Alfredo Mussato (Responsabile U.O. Chimica), Valentino Guzzo, Dr.ssa Clara Buora, Alberta Lorenzonetto, Manuela Rovea, , Michela Salvadori

***Analisi statistica dei risultati***

Dr. Biagio Gianni

Si ringrazia per la collaborazione l'Avv. G. Forlin del comune di Pederobba

Gennaio 2010

## INDICE

<b>1. Introduzione .....</b>	Pag.	1
<b>2. Il biomonitoraggio ambientale</b>	Pag.	1
2.1 Il biomonitoraggio	Pag.	1
2.2 I muschi come bioaccumulatori di metalli in traccia	Pag.	2
<b>3. Metodologia di studio</b>	Pag.	2
3.1 La tecnica di bioaccumulo mediante moss-bags	Pag.	2
3.2 Scelta degli elementi in traccia da determinare nei moss-bags	Pag.	5
3.3 Strategia di campionamento e periodo di esposizione	Pag.	5
3.4 Raccolta dei muschi e posizionamento dei moss-bags	Pag.	6
3.5 Identificazione della specie di muschio utilizzata	Pag.	7
3.6 Analisi chimica	Pag.	7
3.7 Elaborazioni statistiche	Pag.	8
3.7.1 Rappresentazione delle distribuzioni: i box plot	Pag.	9
3.7.2 Strumenti di statistica multivariata: il metodo delle Componenti principali	Pag.	9
<b>4. Risultati</b>	Pag.	11
4.1 Analisi dei dati della PRIMA CAMPAGNA	Pag.	11
4.1.1 Valori di accumulo durante la prima campagna	Pag.	12
4.1.2 Analisi delle componenti principali	Pag.	12
4.2 Analisi dei dati della SECONDA CAMPAGNA	Pag.	15
4.2.1 Valori di accumulo durante la seconda campagna	Pag.	16
4.2.2 Analisi delle componenti principali	Pag.	16
<b>5. Conclusioni</b>	Pag.	19
<b>6. Bibliografia</b>	Pag.	20

## 1. Introduzione

Il presente studio di biomonitoraggio è stato svolto da ARPAV - Dipartimento Regionale Laboratori Servizio Laboratorio Provinciale di Treviso - U.O. di Biologia e U.O. di Chimica, nell'ambito del progetto che prevede la valutazione integrata della fonte di pressione costituita dalla ditta CementiRossi SpA in comune di Pederobba.

Sono state realizzate due campagne di biomonitoraggio: una nell'estate 2008 e una in inverno-primavera 2009. Nei mesi seguenti si è preceduto alla preparazione dei campioni dei muschi esposti, all'effettuazione delle analisi chimiche e, infine, all'elaborazioni dei dati.

La metodica utilizzata è descritta negli Atti del Workshop "Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale" tenutosi a Roma nel novembre del 1998. In particolare, nel contributo presentato da Castello *et al.*, dal titolo "*Proposte metodologiche per l'uso di briofite quali bioaccumulatori di metalli in traccia*", viene illustrato come realizzare il monitoraggio della deposizione di metalli in traccia mediante l'esposizione dei moss-bags (sacchetti di muschio).

## 2. Il biomonitoraggio ambientale

### 2.1 Il biomonitoraggio

L'utilizzo degli organismi viventi nel monitoraggio ambientale prende il nome di biomonitoraggio e può essere ricondotto a due differenti categorie di tecniche:

- 1) le tecniche di bioindicazione che stimano le alterazioni morfologiche, fisiologiche o genetiche a livello di organismi o le modificazioni nella composizione delle comunità animali o vegetali, indotte dalle variazioni ambientali;
- 2) le tecniche di bioaccumulo che si avvalgono di organismi in grado di assorbire ed accumulare, con alto livello di tolleranza, sostanze più o meno tossiche (es. metalli pesanti) le cui concentrazioni vengono misurate.

Il biomonitoraggio tramite moss-bags, utilizzato nel presente lavoro, rientra tra le tecniche di bioaccumulo.

Viene correntemente effettuata una distinzione tra biomonitors passivi, già presenti sul territorio, e biomonitors attivi che vengono posizionati dall'operatore (ad. es i moss-bags). I termini "passivo" e "attivo" risultano, però, fuorvianti ed è più opportuno sostituirli rispettivamente con i termini "autoctono" e "alloctono".

## 2.2 I muschi come bioaccumulatori di metalli in traccia

I muschi sono piante di piccole dimensioni prive di tessuto vascolare appartenenti alle Briofite e dotati di una struttura abbastanza primitiva; non presentano una netta distinzione fra radici, fusti e foglie, sono privi di un efficiente apparato di assorbimento dell'acqua dal suolo e non possiedono uno strato impermeabile di cuticola per ridurre il tasso di traspirazione.

Tali organismi sono diffusi in tutto il mondo, principalmente nelle aree boschive e lungo i corsi d'acqua, dove prevalgono l'ombra (sciafilia) e l'umidità.

L'uso dei muschi come bioaccumulatori di metalli pesanti è basato sulle loro buone proprietà di scambio ionico: possiedono infatti dei siti anionici che catturano i cationi metallici.

I muschi si prestano a studi di monitoraggio in quanto presentano le seguenti caratteristiche:

1. sono organismi cosmopoliti, rinvenibili a tutte le latitudini;
2. hanno una morfologia adatta ad intrappolare le particelle atmosferiche;
3. sono sprovvisti di cuticola cerosa protettiva e di pareti cellulari spesse che aumenterebbero la resistenza a situazioni di stress;
4. sono permeabili agli ioni e all'acqua;
5. presentano un'elevata affinità della parete cellulare per i cationi;
6. traggono la maggior parte delle sostanze nutritive direttamente dalle precipitazioni e dalla deposizione secca di particelle disperse in atmosfera, rendendosi indipendenti dal substrato.

## 3. Metodologie di studio

### 3.1 La tecnica di bioaccumulo mediante moss-bags

Nel presente lavoro è stata utilizzata la metodica proposta da Castello et al. (1998) che si basa sulle capacità di accumulo dei muschi e prevede l'esposizione, all'interno di sacchetti di rete di nylon e per un massimo di nove settimane, di tappetini di muschio raccolti in aree naturali ed opportunamente preparati (moss-bags).

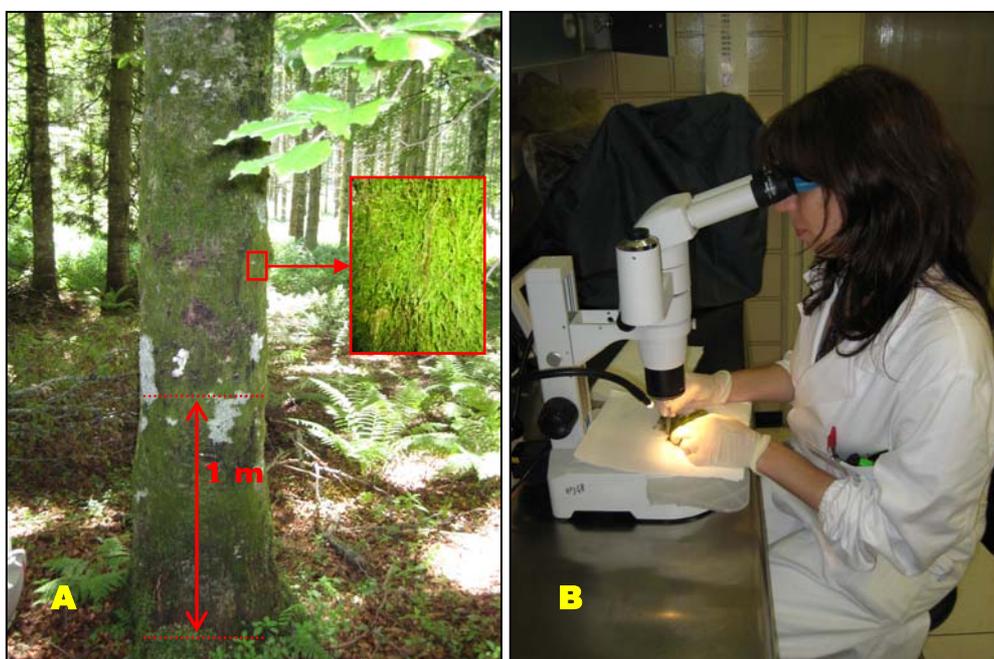
La specie di muschio impiegata è *Hypnum cupressiforme* Hedw., un muschio molto comune e facilmente reperibile; in particolare viene scelta la varietà *filiforme* che cresce sui tronchi degli alberi, scartando gli esemplari epigei ed epilittici nei quali si possono verificare elevati fenomeni di contaminazione terrigena.

La raccolta del materiale per la preparazione dei moss bags va effettuata preferibilmente in una giornata presso un'unica stazione di campionamento posta in aree possibilmente naturali, lontane da evidenti fenomeni di inquinamento. I tappetini di muschio vengono prelevati dal tronco

di uno o più alberi che possono appartenere anche a generi diversi. Si devono evitare situazioni di campionamento disomogenee o situazioni di evidente disturbo costituite da: tronchi d'albero eccessivamente inclinati o contorti, parti del tronco con periodico percolamento di acqua, presenza di fili metallici o verniciature, ecc.

E' consigliabile effettuare numerosi prelievi di tappetini di muschio in punti diversi dei tronchi. In questo modo il materiale risulterà più omogeneo e meno influenzato dalla variabilità naturale nella concentrazione di metalli nei tessuti muscinali. I prelievi vanno effettuati ad un'altezza da terra superiore ai 100 cm per evitare forti contaminazioni da materiale terrigeno (**Figura 1.A**).

I tappetini vengono prelevati in toto, senza distinguere le parti basali più vecchie, di colore bruno, dalle parti apicali più giovani, di colore verde, e vengono asportati dai tronchi con l'uso di un temperino in acciaio inossidabile. Il materiale viene poi inserito in una o più buste di carta da filtro.



**Figura 1** – A) Altezza dei tappetini di muschio da prelevare (al di sopra di 1 metro da terra);  
B) Pulizia dei tappetini di muschio in laboratorio.

I tappetini di muschio vengono portati in laboratorio per la preparazione entro 1-2 giorni dal campionamento e sottoposti ad una pulizia grossolana al microscopio binoculare con l'aiuto di pinzette in acciaio inossidabile, volta alla rimozione di terriccio, pezzi di corteccia d'albero o di foglie ed altri elementi estranei (**Figura 1.B**). I tessuti verdi più giovani non devono essere separati da quelli senescenti di colore bruno, ma vanno rimosse le parti molto sporche di terriccio.

I tappetini di muschio ripuliti vengono riuniti, formando un unico campione da sottoporre a ripetuti brevi lavaggi in acqua distillata (circa 7 lavaggi di 5-10 minuti ciascuno), per la rimozione dei metalli, in particolar modo di quelli associati al particolato. Il materiale viene posto in un unico

recipiente contenente acqua distillata, delicatamente agitato e quindi rimosso, per essere poi sottoposto al lavaggio successivo con altra acqua distillata. Il muschio viene, quindi, fatto asciugare all'aria.

Per effettuare una valutazione dei valori di contaminazione dei campioni di muschio prima dell'esposizione, vanno analizzati alcuni campioni (circa 200 mg ciascuno) prelevati dal materiale pronto per l'esposizione (campioni bianchi).

Entro 1-2 giorni dalla fine del trattamento devono essere allestiti i moss-bags utilizzando pezzi di reticella di nylon di 10 x 10 cm, con maglia di 1-2 mm, chiusi con un filo di nylon per formare sacchetti sferici aventi diametro di 3-4 cm. In ciascun sacchetto viene posta una quantità di muschio pari a 400 mg; il materiale non deve venir compresso nel sacchetto, per consentire una circolazione d'aria anche nelle parti centrali del campione (**Figura 2**).



**Figura 2** - Moss-bag.

Il posizionamento dei moss-bags deve avvenire nel più breve tempo possibile (1-3 giorni) collocandoli ad un'altezza di 1,5-2 m dal suolo, fissandoli tramite filo di nylon direttamente su supporti adeguati ed evitando la prossimità di edifici, boscaglie e siepi fitte. Si deve inoltre evitare di posizionare i campioni in prossimità di strade, a meno che non sia previsto un monitoraggio specifico di tali aree. Se il supporto per i moss-bags è costituito da alberi, il campione va attaccato sui rami più esterni di alberi possibilmente isolati, evitando le zone ad elevata densità fogliare. Alternativamente, è possibile rimuovere la copertura fogliare sovrastante; durante la stagione invernale sono quindi da preferirsi le latifoglie. I sacchettiini devono essere collocati in posizioni distanti dal tronco e dai rami principali. Bisogna evitare di esporre i moss bags durante periodi con forti precipitazioni temporalesche. Prima dell'esposizione, ogni moss-bag va accuratamente bagnato con acqua deionizzata.

In ciascuna stazione di campionamento è bene esporre almeno 3 moss-bags per ridurre possibili effetti di disturbo determinati da variazioni a piccola scala nelle concentrazioni di metalli in

traccia. Il periodo di esposizione dei moss-bags va da un minimo di 4 ad un massimo di 9 settimane.

La raccolta dei campioni deve essere effettuata seguendo la stessa sequenza temporale della collocazione, in modo che ogni moss-bag rimanga esposto per lo stesso periodo di tempo.

Portati i campioni in laboratorio, le analisi chimiche vanno effettuate su tutto il materiale incluso nel moss-bag.

### 3.2 Scelta degli elementi in traccia da determinare nei moss-bags

La scelta degli elementi in traccia da considerare è stata fatta in funzione delle caratteristiche delle emissioni del cementificio e di quelle di altre fonti di pressione presenti nell'area. Sono stati, quindi, individuati i seguenti elementi in traccia da determinare nei bioaccumulatori: Alluminio totale (Al), Ferro totale (Fe), Cadmio totale (Cd), Cobalto totale (Co), Rame totale (Cu), Piombo totale (Pb), Zinco totale (Zn), Manganese totale (Mn), Arsenico totale (As), Mercurio totale (Hg), Berillio totale (Be), Cromo totale (Cr), Nichel totale (Ni), Tallio totale (Tl) e Selenio totale (Se).

### 3.3 Strategia di campionamento e periodo di esposizione

Per il posizionamento delle stazioni di moss-bags si è tenuto conto della modellistica di dispersione degli inquinanti nell'area di studio effettuata da ARPAV – Dipartimento Provinciale di Treviso - Servizio Sistemi Ambientali. Sono state individuate sei stazioni: tre stazioni in corrispondenza delle centraline mobili di monitoraggio chimico di qualità dell'aria (stazioni 1, 2 e 3), una stazione in corrispondenza della centralina fissa di Cavaso del Tomba (stazione 6), una stazione a Nord del cementificio (stazione 5) ed una stazione a Sud del cementificio (stazione 4) (**Tabella 1 e Figura 3**).

I moss-bags sono stati esposti per un periodo di circa otto settimane, in due campagne, una estiva (04 luglio 2008 – 02 settembre 2008) e una invernale (24 febbraio 2009 – 23 aprile 2009).

	Localizzazione	Coordinate Gauss - Boaga	
1	Onigo – Campo sportivo	1732176.74	5082532.41
2	Zona industriale di Pederobba	1731160.72	5083315.99
3	Cimitero Pederobba	1728716.92	5083806.78
4	Zona Sud cementificio	1730822.92	5084157.49
5	Zona Nord cementificio (Garzaia)	1729200.43	5086147.83
6	c/o Centralina A.R.P.A.V. (Cavaso del Tomba)	1724995.20	5085750.57

**Tabella 1** - Stazioni di biomonitoraggio con i moss-bags.



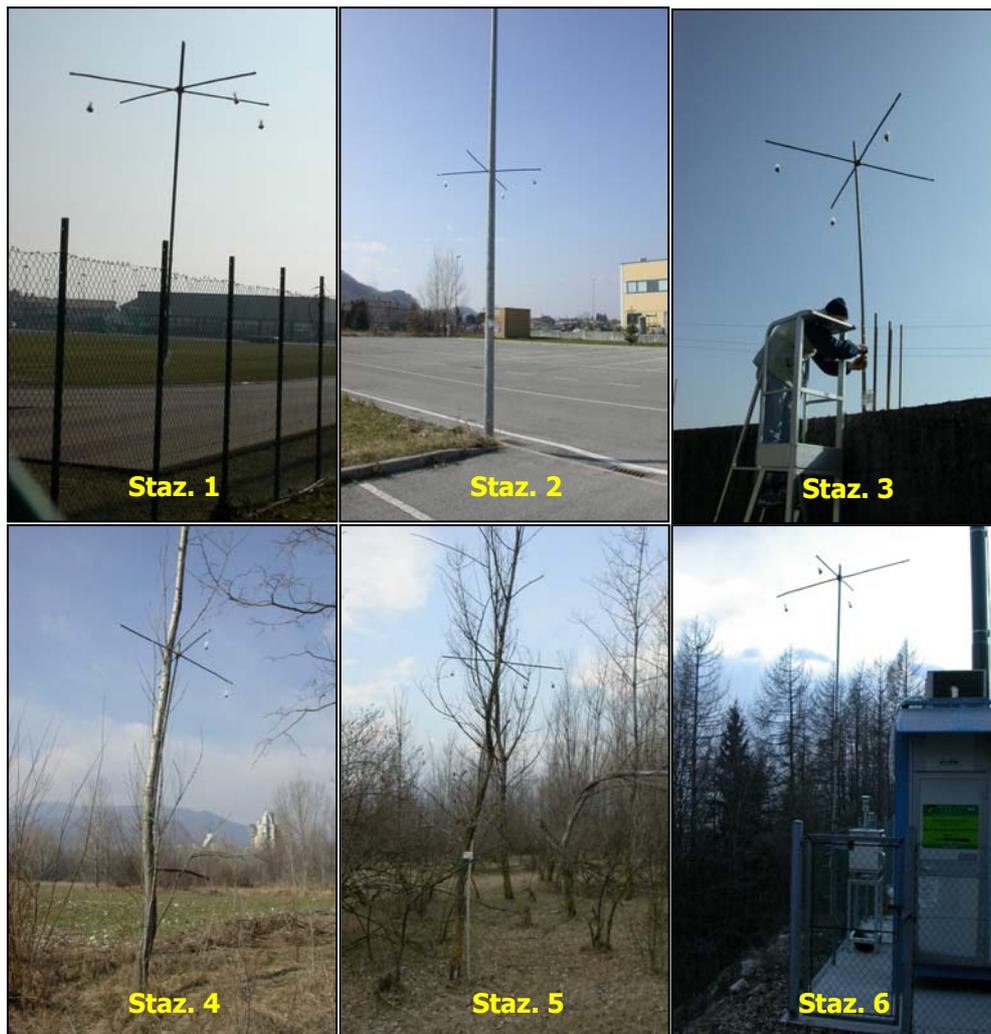
**Figura 3** - Localizzazione delle stazioni di biomonitoraggio con i moss-bags (la stazione 6 non rientra nell'area visualizzata nella foto aerea).

### 3.4 Raccolta dei muschi e posizionamento dei moss-bags

I tappetini di *Hypnum cupressiforme* var. *filiforme* Brid. da utilizzare per la preparazione dei moss-bags sono stati raccolti su alberi di faggio presso il monte Pizzoc (Cansiglio), dopo la biforcazione per Colonia Cadolten, ad un'altitudine di circa metri 1300 (Gauss Boaga: 1761508.63 – 5104191.53).

Dopo aver trattato i tappetini di muschio (vedi paragrafo 3.1) sono stati allestiti i moss-bags e in ciascuna stazione ne sono stati esposti tre.

I sacchetti di muschio sono stati tutti posizionati ad un'altezza superiore ai 3 metri dal suolo (per evitare atti di vandalismo) utilizzando, come supporti, strutture artificiali (pali della luce, pali di recinzione ecc.) già presenti sul territorio, o opportunamente predisposte e, in soli due casi, alberi; sono state utilizzate delle aste di bambù disposte a croce in modo da distanziare opportunamente i moss-bags dai supporti (**Figura 4**).



**Figura 4** – Posizionamento dei moss-bags nelle stazioni di biomonitoraggio

### 3.5 Identificazione della specie di muschio utilizzata

Per il riconoscimento della specie di muschio da utilizzare nell'indagine (*Hypnum cupressiforme* var. *filiforme* Brid.) sono state impiegate chiavi dicotomiche di riconoscimento: Cortini Pedrotti (2001), Cortini Pedrotti (2006) e Smith (2004).

### 3.6 Analisi chimica

Le analisi sono state effettuate su tutto il materiale incluso nel moss-bag e hanno previsto le seguenti fasi:

**Essiccazione:** il contenuto di ciascun moss-bag è stato essiccato a 40°C per 48 ore. Un sottocampione è stato poi sottoposto a essiccazione a 105°C per determinare la perdita d'acqua e poter riferire le concentrazioni degli elementi in traccia al peso secco.

**Macinazione:** Il materiale essiccato è stato poi macinato utilizzando un mulino planetario con corpo e sfere in agata.

**Mineralizzazione:** Al campione macinato, accuratamente pesato con bilancia analitica (peso medio 300 mg), sono stati aggiunti 6 ml di HNO<sub>3</sub>, 2 ml di H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e 0.8 ml di HCl; il campione è stato, quindi, sottoposto a mineralizzazione in forno a microonde utilizzando le seguenti condizioni operative:

Potenza(W)	Tempo (min.)
250	5.30
400	5.00
600	5.00
Ventilazione	

**Determinazione:** Al termine della fase di mineralizzazione il campione è stato raffreddato e portato a volume finale di 50 ml con acqua MilliQ.

Gli elementi in traccia presenti nella soluzione sono stati determinati mediante:

ICP-OES

GFAAS con fornetto di grafite.

Il mercurio è stato invece determinato con Analizzatore Elementare AMA 254 partendo dal campione macinato.

### 3.7 Elaborazioni statistiche

L'elaborazione è stata effettuata tenendo conto che le distribuzioni dei dati ambientali non sempre approssimano in maniera accettabile la distribuzione di Gauss.

Qualora non ci siano basi statistiche per rifiutare l'ipotesi che la distribuzione risulti gaussiana, non è facile verificare che siano soddisfatte le ulteriori ipotesi richieste dai cosiddetti test statistici parametrici, poiché la numerosità del campione non è sempre elevata. Piuttosto che tentare di trasformare le variabili originarie in modo da normalizzare le loro distribuzioni, si è ritenuto in primo luogo rappresentare in modo più completo le distribuzioni dei dati, utilizzando oltre la media ed alla deviazione standard, la mediana quale indicatore di posizione ed i quartili come indici di variabilità. In tal modo i risultati risultano "robusti", cioè meno sensibili alla particolare forma della distribuzione dei dati.

Sono stati scartati tutti quei parametri per i quali il valore era al di sotto del limite di quantificazione per il 40% dei dati determinati. Per l'elaborazione di medie mediane ecc.. i dati le cui concentrazioni sono al di sotto del limite di quantificazione sono state considerate come se fossero uguali alla metà del limite di quantificazione stesso.

Le analisi dei campioni bianchi sono state utilizzate per valutare la variabilità interna al campione, al fine di stabilire se fosse opportuna la successiva analisi multivariata, e per eseguire dei confronti di carattere meramente indicativo e qualitativo, tra i valori di concentrazione trovati

nel bianco e quelli delle stazioni. I risultati dei "bianchi" ottenuti nelle due campagne sono riportati in **Tabella 2**:

Elementi	1° campagna						2° campagna					
	mg/kg s.s.			media	deviazione standard	RSD%	mg/kg s.s.			media	deviazione standard	RSD%
Al	845	850	845	847	3	0,3%	617	560	605	594	30	5,1%
Fe	815	759	710	761	53	6,9%	547	527	536	537	10	1,9%
Cd	<0,3	<0,3	<0,3				<0,3	<0,3	<0,3	<0,3		
Co	<1,0	<1,0	<1,0				<1,0	<1,0	<1,0	<1,0		
Cu	8,5	8,7	8,2	8,5	0,3	3,0%	8,3	8,5	8,7	8,5	0,2	2,4%
Pb	10,4	10,9	9,2	10	1	8,6%	6,6	7,1	6,1	6,6	0,5	7,6%
Zn	43,5	42	44,4	43	1	2,8%	44,7	40,7	44,9	43	2,4	5,5%
Mn	132	146	133	137	8	5,7%	136	132	128	132	4	3,0%
As	<0,3	<0,3	<0,3				<0,3	<0,3	<0,3	<0,3		
Hg	0,175	0,185	0,164	0,175	0,011	6,0%	0,144	0,134	0,13	0,136	0,007	5,3%
Be	<0,2	<0,2	<0,2				<0,2	<0,2	<0,2	<0,2		
Cr	<5,0	<5,0	<5,0				<5,0	<5,0	9,7	9,7		
Ni	4,2	4,0	3,1	3,8	0,6	16	3,7	2,9	2,9	3,2	0,5	15
Tl	<1,0	<1,0	<1,0				<1	<1	<1	<1		
Se	<0,2	<0,2	<0,2				<0,2	<0,2	<0,2	<0,2		

**Tabella 2** - Risultati delle analisi dei "bianchi" relativi alla prima e e alla seconda campagna.

### 3.7.1 Rappresentazione delle distribuzioni: i box plot

Nelle tabelle si riportano gli indici di posizione e di variabilità legati ai parametri della distribuzione di Gauss: la media, la deviazione standard, il coefficiente di variazione pari al rapporto tra deviazione standard e la media moltiplicata per cento. A tali indici sono stati aggiunti in molti casi la mediana e la metà del campo di variazione interquartile, che rappresentano gli indici di posizione e variabilità non legati ad alcuna particolare distribuzione. Infine, l'informazione viene completata fornendo i valori di massimo e minimo, che definiscono il campo di variazione delle osservazioni.

### 3.7.2 Strumenti di statistica multivariata: il metodo delle Componenti principali

Le metodologie analizzate sinora sono estremamente utili per descrivere il comportamento di singole variabili statistiche e confrontarne le distribuzioni. Tuttavia la caratterizzazione dei parametri chimici richiede la rilevazione di vari parametri che non sempre è possibile sintetizzare in un unico indicatore. Per valutare e interpretare la variabilità spazio-temporale, può essere quindi necessario servirsi di tecniche di analisi statistica multivariata, che consentono di estendere l'analisi statistica a vettori di variabili casuali. Il compito generale della analisi statistica multivariata è quello di "riassumere" la variabilità di un certo insieme di dati in pochi "fattori", che siano una combinazione lineare delle variabili originali. Spesso qualora si riesca a descrivere i dati con un numero di fattori inferiore a quello delle variabili, si ottiene un quadro interpretativo migliore, in

quanto emergono associazioni tra le variabili ed eventuali ridondanze nelle informazioni raccolte. Vi sono vari modi di determinare i fattori: tra questi è stato scelto il metodo delle Componenti Principali, nel seguito denominato con l'acronimo inglese PCA (Principal Component Analysis). Esso presenta il vantaggio di attribuire a ciascun fattore una ben precisa frazione della varianza totale dei dati. In altri termini, se si calcolassero le matrici di covarianza e di correlazione tra i fattori così ottenuti, si otterrebbero matrici diagonali in cui gli elementi non nulli sono proprio le varianze associate a ciascun fattore. Per questa ragione, i risultati sono tanti più significativi quanto più si avvicina ad una curva multinormale: in questo caso, infatti, le varianze rappresentano effettivamente la variabilità dei dati e non sono influenzate dalla presenza di pochi valori molto inferiori o superiori alla media. Poiché le scale dei dati ambientali sono numericamente molto diverse, le componenti principali sono state estratte dalle matrici di correlazione e non dalle matrici di varianza/covarianza. In questo caso, ogni variabile viene misurata in unità pari alla propria deviazione standard, calcolata rispetto all'insieme di dati utilizzato.

Lo scopo della PCA è duplice:

- esaminare la possibilità di ridurre l'insieme di variabili campionate, se ad esempio si nota che due variabili forniscono le stesse indicazioni;
- evidenziare la eventuale similarità statistica tra i campioni, rappresentandoli in uno spazio avente un numero di dimensioni inferiori a quello originale.

I risultati dell'analisi delle componenti principali vengono solitamente riassunti in tre diversi grafici e da una tabella:

- il grafico degli autovalori, o scree-plot, che rappresenta le varianze associate a ciascun fattore; esso permette di capire immediatamente quali frazione della varianza totale sia spiegata da ciascun fattore e quindi sceglierne un numero opportuno
- la tabella dei cosiddetti "loadings", o pesi, cioè dei coefficienti moltiplicativi di ciascuna delle variabili originali nei nuovi fattori; le stesse informazioni possono essere visualizzate nel grafico dei "loadings". Pesi simili nelle prime componenti indicano una elevata correlazione tra le variabili.

Il grafico ottenuto visualizzando i campioni nel sottospazio i cui assi di riferimento sono i Fattori. Le coordinate in questo nuovo sistema di riferimento vengono denominate "factor scores". L'ispezione del grafico consente di separare meglio i "punti" nel nuovo sistema di riferimento, avente dimensioni più ridotte.

Il software usato per le elaborazioni statistiche è STATISTICA for Windows 6.0 Tulsa, StatSoft, Inc. (2001).

## 4. RISULTATI

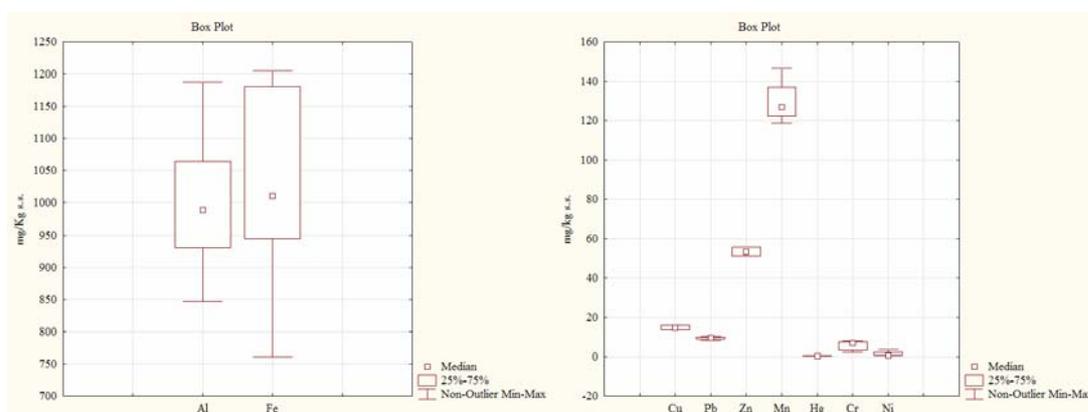
### 4.1 Analisi dei dati della PRIMA CAMPAGNA

In **Tabella 3** vengono riportati i dati riassuntivi della prima campagna.

Metalli (mg/Kg s.s.)	media	dev st	RSD	mediana	minimo	massimo
Al	1000	149	15%	994	700	1274
Fe	1017	193	19%	981	710	1401
Cd	Dati con più del 40% dei valori inferiori al limite di quantificazione					
Co	Dati con più del 40% dei valori inferiori al limite di quantificazione					
Cu	15	4	26%	14	8	22
Pb	10	1	11%	9	8	11
Zn	55	8	15%	53	42	73
Mn	129	12	9%	128	110	150
As	Dati con più del 40% dei valori inferiori al limite di quantificazione					
Hg	0.2	0.1	47%	0.2	0.1	0.5
Be	Dati con più del 40% dei valori inferiori al limite di quantificazione					
Cr	7.0	2	33%	7	1	11
Ni	1.1	0.1	12%	1	0.5	1
Tl	Dati con più del 40% dei valori inferiori al limite di quantificazione					
Se	Dati con più del 40% dei valori inferiori al limite di quantificazione					

**Tabella 3** – Concentrazione dei metalli nella prima campagna (n=18)

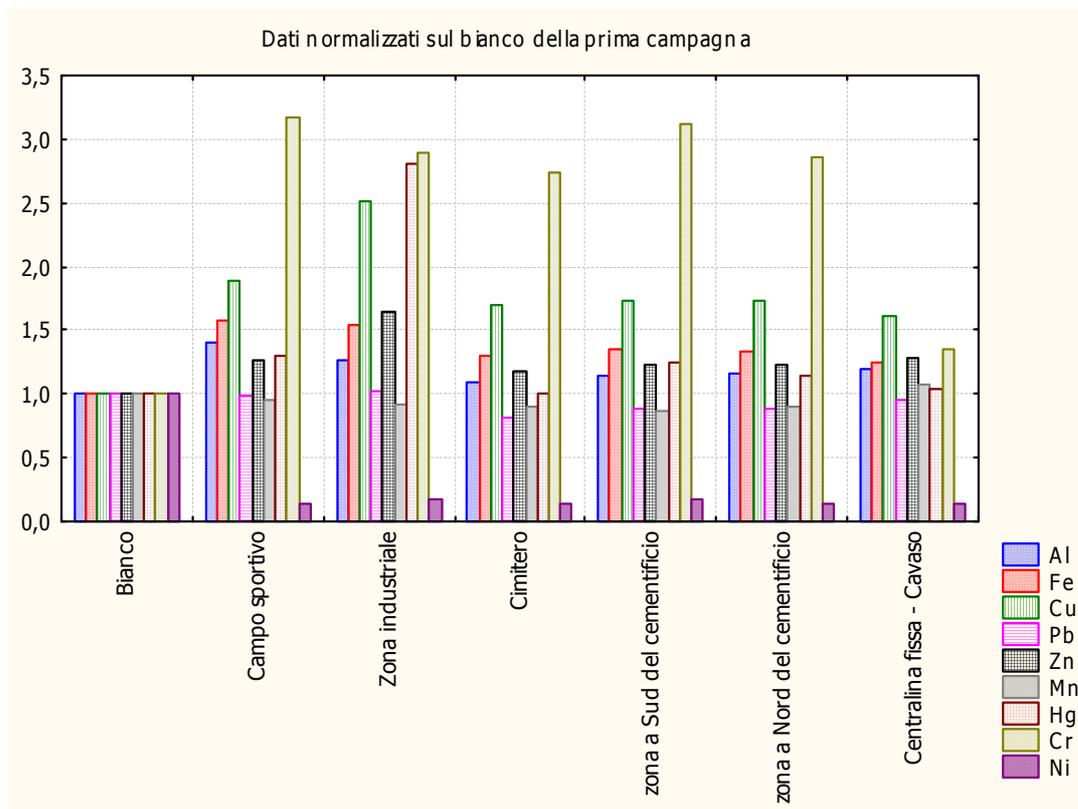
Con l'aiuto dei Box Plot (**Figura 5**) è possibile vedere le caratteristiche dell'andamento delle concentrazioni dei metalli contenuti nei moss-bags. Il segmento verticale delimitato dalle due barre orizzontali, è rappresentativo del campo di variazione dei dati. Il rettangolo, invece, visualizza l'intervallo interquartile, ovvero la distanza tra il primo e il terzo quartile, dove cade il 50% dei dati.



**Figura 5** - Box-Plot della concentrazione dei metalli della prima campagna

#### 4.1.1 Valori di accumulo durante la prima campagna

I "bianchi", ovvero i muschi preparati per l'esposizione secondo il procedimento standard ma analizzati prima, sono stati usati come valore di riferimento su cui "normalizzare" la concentrazione degli altri siti monitorati. Naturalmente si nota un'incremento della concentrazione dei metalli pari al numero di volte indicato nell'asse delle ordinate del seguente grafico:



Rispetto al bianco, l'incremento dei metalli nelle stazioni monitorate di Pederobba presentano dei valori piuttosto omogenei tra di loro. La centralina di Cavaso del Tomba, usata per valutare il valore di fondo, dei metalli presenta degli incrementi confrontabili con il bianco. In generale da questo "scenario" non è possibile attribuire una fonte predominante tra quelle monitorate. Per poter trarre ulteriori informazioni dai dati sperimentali ottenuti nella prima campagna, è stata condotta l'analisi delle componenti principali.

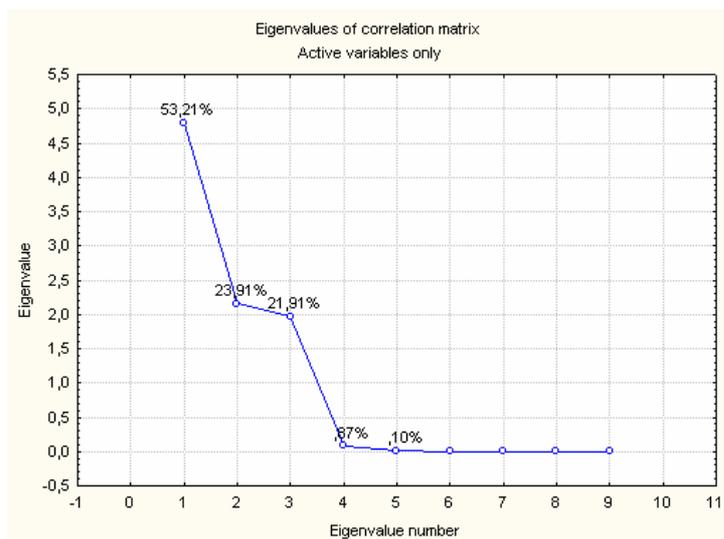
#### 4.1.2 Analisi delle componenti principali

L'analisi delle matrici di correlazione delle medie dei dati della prima campagna e la sua decomposizione mediante l'analisi delle componenti principali fornisce una sintesi della variabilità spaziale efficace e suscettibile di essere interpretata in termini ambientali.

L'analisi delle componenti principali evidenzia che la grande parte della variabilità è associata a due fattori. La similitudine delle stazioni viene messa in evidenza dalla posizione uguale nel piano di proiezione delle variabili risultante dall'elaborazione delle componenti principali.

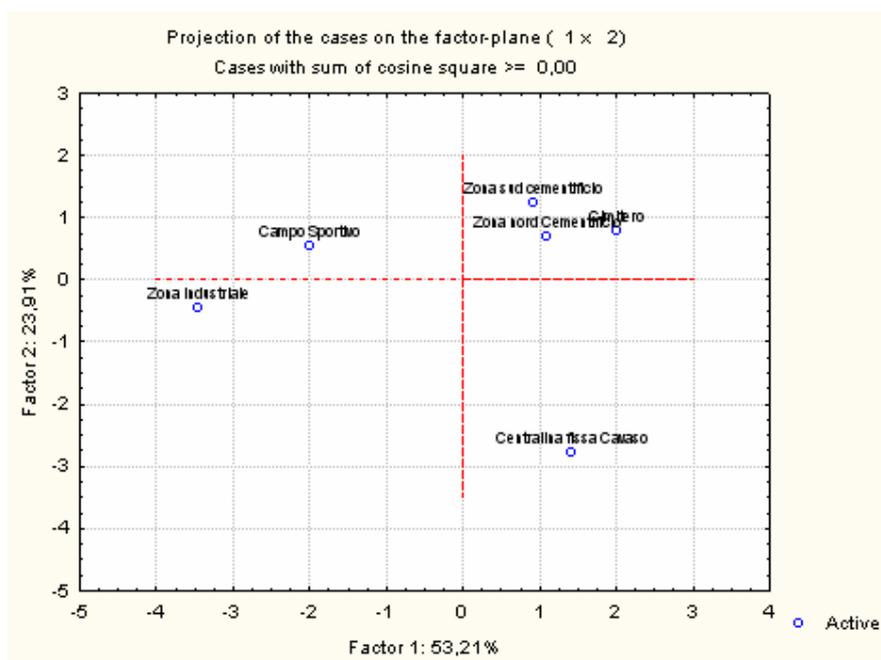
Per ricercare le variabili responsabili di questo andamento è stata eseguita l'analisi delle componenti principali (PCA).

Per comprendere quali sono le variabili responsabili di questo andamento si è deciso di fermarsi allo studio della seconda componente principale considerando che a questo livello la varianza cumulata spiegata (somma della prima e seconda componente in **Figura 6**) è del 77%.



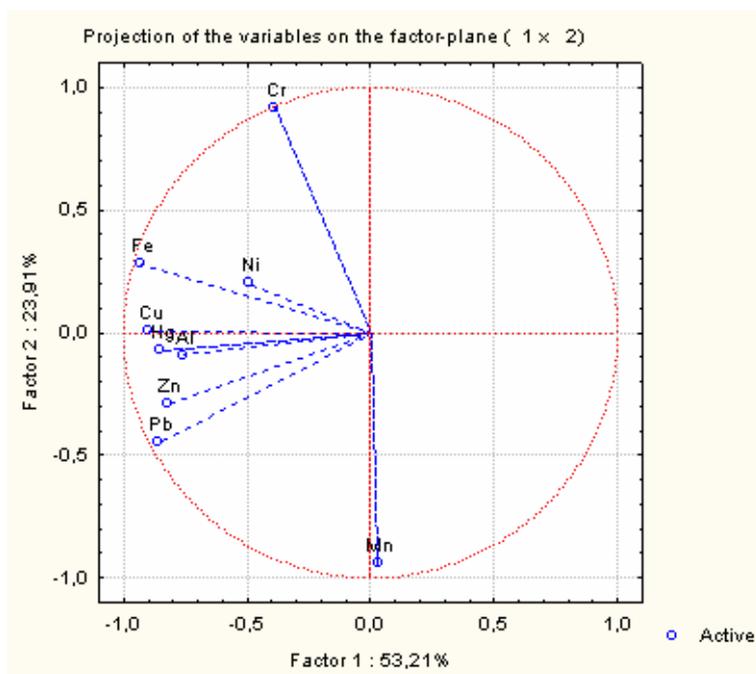
**Figura 6** - Autovalori della matrice di correlazione della prima campagna.

In **Figura 7** la prima componente principale (varianza spiegata del 53%) distingue nettamente i siti in due gruppi in base alla zona di provenienza: i campioni di "Cavaso", "zona nord e sud del cementificio" e "cimitero" pesano positivamente sulla prima componente, viceversa quelli prelevati nella "zona industriale e campo sportivo" pesano negativamente sulla prima componente.



**Figura 7** - Diagramma della dispersione dei campioni sulla prima e seconda componente principale relativa alla prima campagna

Nel diagramma di dispersione delle variabili (**Figura 8**) è possibile individuare quali siano le variabili responsabili della distribuzione dei campioni. Sulla prima componente (varianza spiegata 53%) pesa in senso positivo il manganese mentre in negativo Pb, Zn e Al.



**Figura 8** - Diagramma di dispersione delle variabili sulla prima e seconda componente principale relativa alla prima campagna

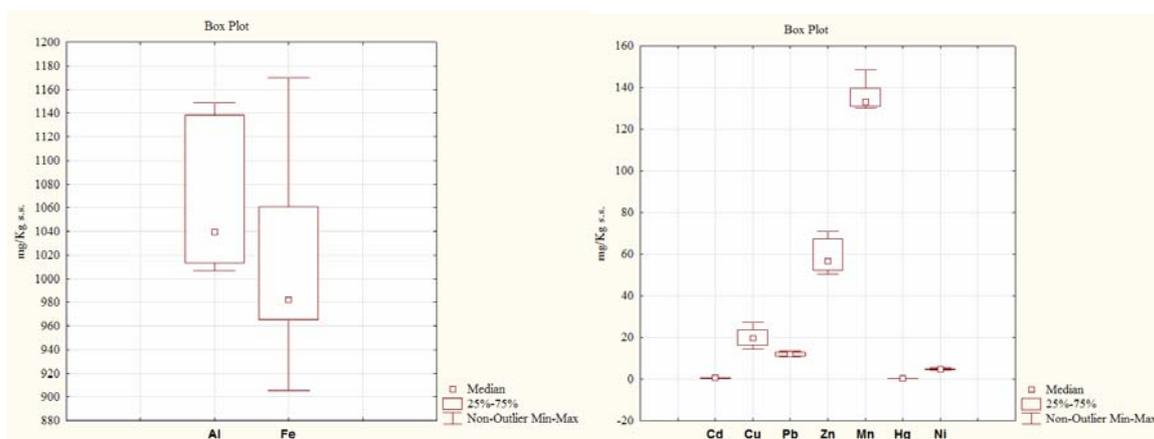
Inoltre è possibile individuare quali siano le variabili responsabili della distribuzione dei campioni. In particolare la seconda componente (varianza spiegata del 24%) permette di suddividere i gruppi dei campioni in due sottogruppi su base spaziale. Infatti i campioni prelevati nella zona del campo sportivo hanno il contenuto più alto in termini di Cr, Fe e Ni, mentre il contenuto dei metalli riconducibile alle altre zone campionate non risultano essere rilevanti.

### 4.2 Analisi dei dati della SECONDA CAMPAGNA

In **Tabella 4** vengono riportati i dati riassuntivi della seconda campagna.

Metalli (mg/Kg s.s.)	media	dev st	RSD	mediana	minimo	massimo
Al	997	187	19%	1014	594	1149
Fe	943	198	21%	970	537	1170
Cd	0.57	0.15	26%	0.56	0.37	0.96
Co	Dati con più del 40% dei valori inferiori al limite di quantificazione					
Cu	19	6	34%	17	9	27
Pb	11	2	20%	12	7	13
Zn	57	10	17%	56	43	71
Mn	135	7	5%	133	130	149
As	Dati con più del 40% dei valori inferiori al limite di quantificazione					
Hg	0,23	0,08	35%	0,2	0,1	0,4
Be	Dati con più del 40% dei valori inferiori al limite di quantificazione					
Cr	Dati con più del 40% dei valori inferiori al limite di quantificazione					
Ni	5	1	15%	5	3	5
Tl	Dati con più del 40% dei valori inferiori al limite di quantificazione					
Se	Dati con più del 40% dei valori inferiori al limite di quantificazione					

**Tabella 4** – Concentrazione dei metalli nella seconda campagna ( n=18)

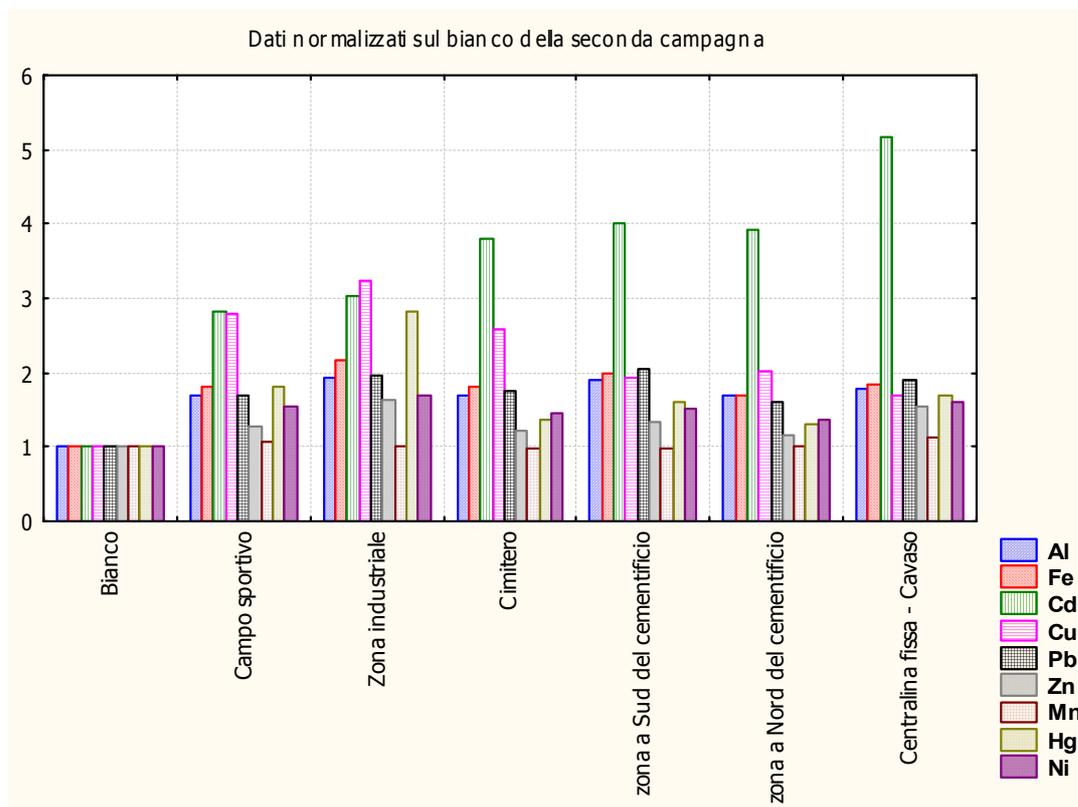


**Figura 9** - Box-Plot della concentrazione dei metalli della seconda campagna

Dalle distanze interquartili (**Figura 9**) è possibile dedurre che il contenuto dei metalli risulta essere piuttosto omogeneo.

### 4.1.3 Valori di accumulo durante la seconda campagna

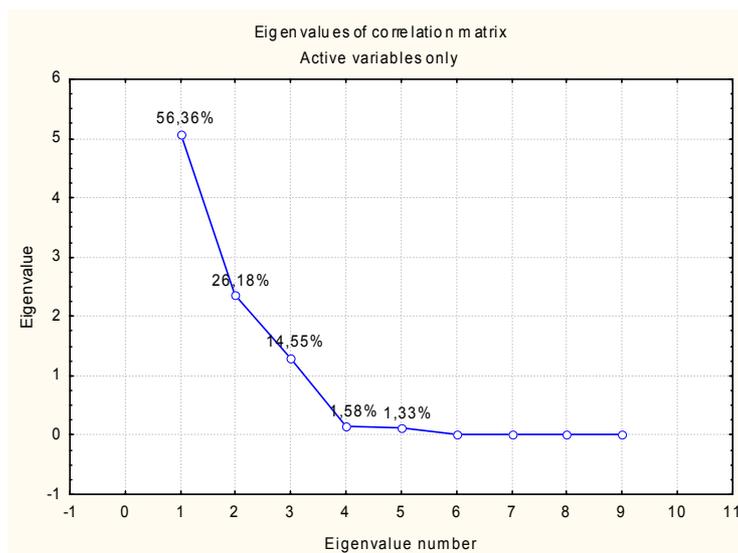
Come per la prima campagna, i valori dei metalli sono stati "normalizzati" sulla concentrazione dei "bianchi". L'incremento della concentrazione dei metalli pari al numero di volte indicato nell'asse delle ordinate del seguente grafico:



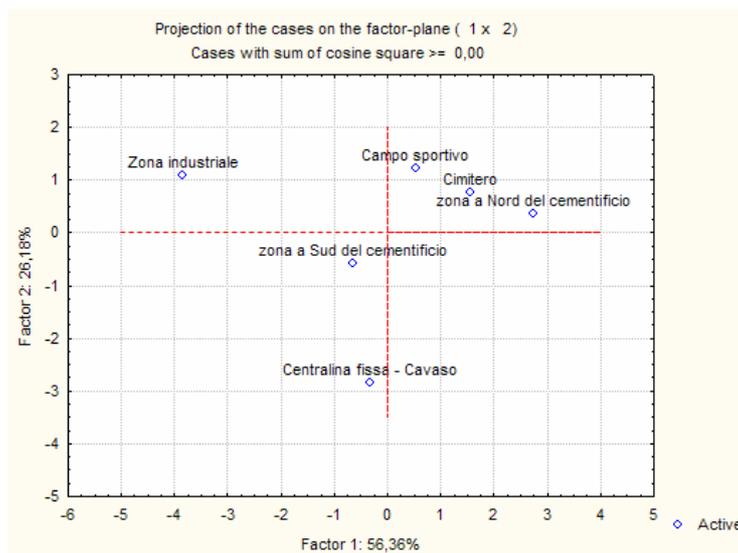
Rispetto al bianco, l'incremento dei metalli nelle stazioni monitorate di Pederobba presentano dei valori piuttosto omogenei tra di loro. La centralina di Cavaso del Tomba, non presenta dei valori d'incremento confrontabili con il "bianco" come per la prima campagna, ma al contrario gli incrementi sono confrontabili con le stazioni di Pederobba. Addirittura, come nel caso del Cr, nella stazioni di "fondo" di Cavaso del Tomba si ha l'incremento più alto di cromo. Come per la prima campagna da questa elaborazione non è possibile attribuire una fonte predominante tra quelle monitorate. Analogamente alla prima campagna è stata condotta l'analisi delle componenti principali.

### 4.2.1 Analisi delle componenti principali

Come per la prima campagna, per comprendere quali sono le variabili responsabili di questo andamento si è deciso di fermarsi allo studio della seconda componente principale considerando che a questo livello la varianza cumulata spiegata è dell' 83% (Figura 10).



**Figura 10** - Autovalori della matrice di correlazione della seconda campagna.

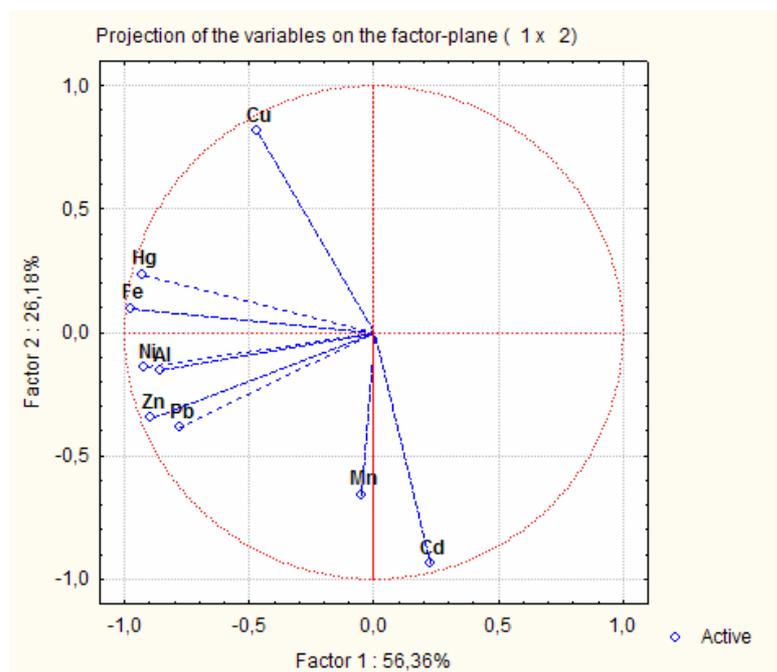


**Figura 11** - Diagramma della dispersione dei campioni sulla prima e seconda componente principale relativa alla seconda campagna.

La prima componente principale distingue nettamente i siti in due gruppi sulla base della zona di provenienza e diversamente dalla prima campagna il sito del campo sportivo, cimitero e zona a nord del cementificio pesano positivamente sulla prima componente mentre gli altri siti in maniera negativa sulla prima componente (**Figura 11**).

Nel diagramma di dispersione delle variabili di **Figura 12** è possibile individuare quali siano le variabili responsabili della distribuzione dei campioni nella seconda campagna invernale. Come per la prima campagna estiva la seconda componente (varianza spiegata del 26%) suddivide i gruppi dei campioni in due sotto gruppi su base spaziale: contrariamente alla campagna estiva i

moss-bags della zona industriale hanno il contenuto più alto in Cu Hg e Fe, mentre nessun apporto significativo di metalli è stato trovato nei moss bags delle altre zone.



**Figura 12** - Diagramma di dispersione delle variabili sulla prima e seconda componente principale relativa alla seconda campagna

## 5. Conclusioni

Le due campagne considerate risultano significativamente differenziate sulla base delle distribuzioni dei metalli. Nella prima campagna (estiva) i moss-bags della zona del campo sportivo risultano contenere valori relativamente più alti di Fe, Ni e Cr, rispetto a quelli esposti nelle altre stazioni. Viceversa nella seconda campagna (invernale) sono i moss-bags della zona industriale ad avere un contenuto relativamente più alto di Cu, Fe e Hg. Non sono state trovate concentrazioni con tendenze significative di altri metalli in altri siti campionati. Tuttavia le concentrazioni di metalli più alte trovate in queste zone rientrano in una variabilità di concentrazione modesta (RSD generalmente compreso tra 5% e 30%). Pertanto l'analisi statistica, condotta sull'andamento delle concentrazioni dei metalli, oltre a non evidenziare un apporto di metalli proveniente da una precisa fonte, non indica nessun metallo peculiare e riconducibile alle pressioni ambientali che insistono nella zona d'interesse.

Alla luce di queste considerazioni è ragionevole concludere che nel periodo delle due campagne di misura i valori di metalli contenuti nei moss-bags esposti nella zona d'indagine, presentano dei valori di concentrazione piuttosto omogenei e congruenti con un apporto di metalli diffuso e non imputabile ad una singola fonte.

Resta inteso, comunque che l'utilizzo dei moss-bags non deve risultare sostitutivo al rilevamento effettuato tramite impianti di monitoraggio ma complementare ad esso. Anzi le tecniche di biomonitoraggio devono essere viste come una premessa utile alla classificazione di aree nelle quali operare in seguito misure mirate.

## 6. Bibliografia

- A.N.P.A. (2001). *I.B.L. Indice di Biodiversità Lichenica*. Manuali e Linee Guida 2/2001.
- A.A.V.V. (2001). Rapporto sullo stato dell'ambiente della Provincia di Verona- 2004. Provincia di Verona - Settore Ecologia. ARPAV Dipartimento Provinciale di Verona.
- A.A.V.V. (1999). Atti del Workshop: "Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale". Roma, 26-27 novembre 1998. ANPA – Serie Atti 2/1999.
- BARGAGLI R., MONACI F., BORGHINI F., BRAVI F., AGNORELLI C. (2002). *Mosses and lichens as biomonitors of trace metals. A comparison study on Hypnum cupressiforme and Parmelia caperata in a former minino district in Italy*. Environmental Pollution, 116: 279-287.
- CASTELLO M., CENCI R.M., GERDOL R (1998). *Proposte metodologiche per l'uso di briofite come bioaccumulatori di metalli in traccia*. Atti del Workshop "Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale". Roma, 26-27 novembre 1998.
- CENCI R.M. (1997). *Le ricadute al suolo di origine antropica valutate utilizzando i muschi. Indagine in micro e macro aree*. 9° Convegno annuale AAA. La VIA in Italia: organizzazione amministrativa della valutazione di impatto ambientale a livello locale, valutazione di impatto ambientale in ambito agro-forestale e rurale. Bologna, Facoltà di Agraria, 27-28 novembre 1997.
- CORTINI PEDROTTI C. (2001). *Flora dei muschi d'Italia. Sphagnopsida, Andreaeopsida, Bryopsida (I parte)*. Antonio Delfino Editore.
- CORTINI PEDROTTI C. (2006). *Flora dei muschi d'Italia. Bryopsida (II parte)*. Antonio Delfino Editore.
- NIMIS P.L., SKERT N. (1999). *Introduzione al biomonitoraggio con licheni epifiti*. Corso di formazione. Bassano del Grappa, 16-18 settembre 1999. Amministrazione Provinciale di Vicenza Dipartimento Ambiente. In collaborazione con ARPAV e Dipartimento di Biologia dell'Università di Trieste con il patrocinio di ANPA. Trieste.
- SMITH A.J.E. (2004). *The Moss Flora of Britain & Ireland*. 2nd Edition. Cambridge University Press.
- TRETIACH M., BARUFFO P. (2001). *Deposizione di metalli nella pedemontana pordenonese*. Provincia di Pordenone.

