

GORTANIA - Atti Museo Friul. di Storia Nat.	20 (1998)	119-131	Udine, 31.X.1998	ISSN: 0391-5859
---------------------------------------------	-----------	---------	------------------	-----------------

M. PECCHIARI, M. FRANCHI, S. PISON

STUDIO PRELIMINARE DELLA DEPOSIZIONE DI METALLI PESANTI  
NELLA ZONA MONTUOSA DELLA PROVINCIA DI UDINE (NE ITALIA)  
TRAMITE L'UTILIZZO DI *HYLOCOMIUM SPLENDENS* (HEDW.) B.S.G.  
COME BIOACCUMULATORE

*HEAVY METAL DEPOSITION PATTERNS IN THE MOUNTAIN AREA  
OF THE PROVINCE OF UDINE (NE ITALY)  
USING HYLOCOMIUM SPLENDENS (HEDW.) B.S.G. AS BIOACCUMULATOR*

**Riassunto breve** - In questo studio è stata utilizzata la specie muscinale *Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G., campionata in 14 stazioni nella fascia alpina e prealpina, come bioaccumulatore per valutare i valori di deposizione di metalli pesanti della provincia di Udine (NE Italia); tale indagine si inserisce nel contesto del progetto europeo "Atmospheric Heavy Metal Deposition in Europe". Il materiale, campionato secondo procedure standard, è stato esaminato con un analizzatore al plasma ad accoppiamento induttivo con rilevatore a spettrometro di massa. Vengono riportate le mappe di distribuzione di V, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Hg e Pb ottenute usando programmi di cartografia automatizzata. I dati ottenuti evidenziano un aumento generale di deposizione da Ovest verso Est, con valori comunque elevati anche nelle vallate centrali. I modelli di deposizione dei metalli sono stati analizzati tramite analisi multivariata che ha evidenziato una relazione tra i valori di deposizione di metalli e i modelli delle precipitazioni caratteristici dell'area di studio.

**Parole chiave:** Bioaccumulatori, Metalli pesanti, *Hylocomium splendens*, Friuli-Venezia Giulia.

**Abstract** - *The moss species Hylocomium splendens (Hedw.) B.S.G., collected in 14 stations in the alpine and prealpine belts, has been used as a bioaccumulator to evaluate the heavy metal deposition levels in the province of Udine (NE Italy), in the framework of the project "Atmospheric Heavy Metal Deposition in Europe". The material, sampled according to standard procedures, has been analysed by an Induced Coupled Plasma-Mass Spectrometry. Distribution maps of V, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Hg e Pb have been drawn by automatic mapping programmes. The data show an increasing heavy metal deposition eastward and in the middle valleys. The origin of this distribution pattern is discussed on the basis of the results of the multivariate analysis of the data, which show that the deposition pattern may be related to the different precipitation patterns within the survey area.*

**Key words:** Bioaccumulators, Heavy metals, *Hylocomium splendens*, Friuli-Venezia Giulia, Italy.

## Introduzione

Le metodiche di monitoraggio dell'ambiente tramite l'uso di organismi vegetali, soprattutto muschi e licheni, sono ormai ampiamente diffuse. Dagli anni '60 ad oggi sono

apparso numerose pubblicazioni sull'utilizzo di queste tecniche e sui loro vantaggi. Per una trattazione ampia ed esaustiva riguardo all'utilizzo di muschi e licheni come bioaccumulatori di metalli pesanti si rimanda a PUCKETT, 1988.

Nella regione Friuli-Venezia Giulia sono stati eseguiti, fin dagli anni '70, numerosi studi di monitoraggio ambientale in cui gli organismi vegetali sono stati utilizzati come bioindicatori o come bioaccumulatori. Ad esempio, CANDUSSIO & ROMANIN (1979) hanno utilizzato diverse specie di muschi come bioaccumulatori per valutare la distribuzione di mercurio nell'ambiente, mentre numerosi altri autori hanno utilizzato i licheni come bioindicatori dell'inquinamento atmosferico (NIMIS, 1985; 1986; BADIN & NIMIS, 1995; CASTELLO, 1995). In seguito all'incidente di Chernobyl sono stati inoltre eseguiti studi di bioaccumulo di elementi radioattivi in macromiceti (GIOVANI et al., 1990; NIMIS et al., 1986, NIMIS et al., 1989; 1990) e in muschi estesi a tutta la regione (GIOVANI et al., 1994).

La presente ricerca è stata sviluppata nel contesto di un progetto europeo per lo studio della deposizione atmosferica di metalli pesanti utilizzando i muschi come bioaccumulatori. Questo progetto, iniziato nel 1980 in Svezia e Danimarca (GYDESEN et al., 1983), è stato esteso nel 1985 ad altri paesi nordici (RÜHLING et al., 1987) ed è stato ampliato a tutta l'Europa dal 1990. Nel 1996 alcune regioni italiane tra le quali il Trentino-Alto Adige e il Friuli-Venezia Giulia hanno aderito a questo progetto. Gli scopi del progetto sono la valutazione quantitativa e qualitativa della deposizione di metalli pesanti in tutta Europa, l'individuazione delle principali sorgenti di metalli pesanti di origine antropica e naturale, l'identificazione delle aree soggette a tale inquinamento e, infine, il monitoraggio temporale delle deposizioni.

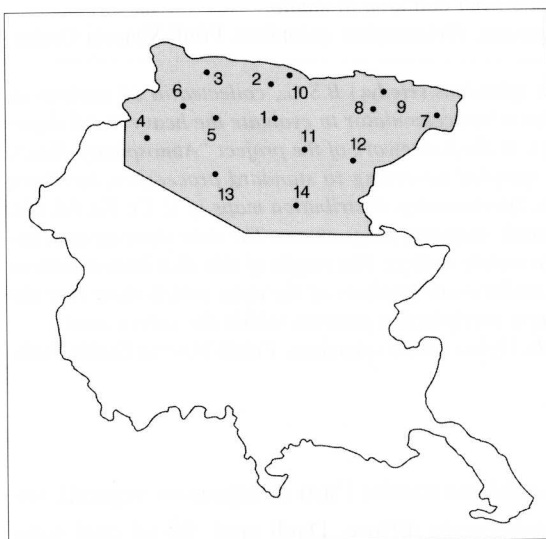


Fig. 1 - Area di studio con le stazioni di campionamento.  
- Survey area and sampling sites.

In questo lavoro vengono riportati i risultati ottenuti in seguito alle analisi quantitative di V, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Hg e Pb effettuate su *Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G. campionato nella zona montuosa della provincia di Udine. La ricerca è stata eseguita nell'ambito di una collaborazione tra il Presidio Multizonale di Prevenzione dell'A.S.S. n° 4 di Udine e il Dipartimento di Biologia dell'Università di Trieste.

## Materiali e metodi

### Specie utilizzata

Il protocollo di lavoro prevede di utilizzare per questa ricerca *Hylocomium splendens*, poiché è stato dimostrato che questa specie possiede un'elevata capacità di funzionare come bioaccumulatore di metalli pesanti, soprattutto di cationi bivalenti come Rame, Piombo e Nichel (RÜHLING & TYLER, 1970), e può perciò venire usata per valutare i valori di deposizione atmosferica di questi elementi. *Hylocomium splendens* vegeta preferenzialmente su humus e forma ampie popolazioni monospecifiche su suolo di boschi di aghifoglie (*Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra* e *Pinus mugo*) oppure su scarpate umide, su roccia, in brughiere o su terreni torbosi con sfagni. È una specie tendenzialmente calcifuga e privilegia suoli con pH variabili tra 3 e 5. Se presente in habitat calcarei necessita di suoli lisciviati come piccoli dossi dove prevale l'azione acidificante della lettiera. Vive bene in ambienti con forti escursioni di umidità sia atmosferica che del suolo e sembra prediligere radure, prati o

Stazione	Data		Altitudine	
1 - LOVEA	5149000	2375000	30/08/96	470
2 - CASTEL VALDAIER	5157000	2374000	30/08/96	1350
3 - M. CROSTIS	5160000	2358000	06/09/96	1950
4 - P. PURA	5144000	2343000	06/09/96	1400
5 - MALGA ARVENUTIS	5149000	2360000	09/09/96	1550
6 - M. FORCHIA	5152000	2352000	09/09/96	1200
7 - FUSINE	5149000	2419000	13/09/96	700
8 - MALBORGHETTO	5151000	2399000	16/09/96	900
9 - UGOVIZZA	5155000	2402000	16/09/96	1300
10 - CASON DI LANZA	5159000	2379000	20/09/96	1400
11 - MOGGIO	5141000	2382000	27/09/96	550
12 - RESIA	5138000	2396000	27/09/96	1000
13 - SELLA CHIANTUTAN	5135000	2360000	01/10/96	1000
14 - SELLA FOREDOR	5127000	2380000	01/10/96	1000

Tab. I - Stazioni di campionamento con relative coordinate UTM, data della raccolta, e altitudine della stazione (m s.l.m.).  
- Sampling stations with UTM coordinates, sampling date and altitude.

brughiere. Nelle pianure europee ed in territori industrializzati *H. splendens* si presenta spesso in forte regressione oppure è già scomparso in seguito all'inquinamento.

### Metodologie di campionamento

Le stazioni di campionamento sono distribuite nella parte più settentrionale della provincia di Udine su un'area di circa 2400 Km<sup>2</sup>, nelle fasce altimetriche alpina e prealpina, dove sono frequenti gli ambienti con le caratteristiche ecologiche necessarie per lo sviluppo di consistenti popolamenti di *H. splendens*. In quest'area sono state identificate 14 stazioni (fig. 1 e tab. 1) con il seguente procedimento: un reticolo regolare di 14 punti è stato sovrapposto all'area di studio, e nei pressi di ciascun punto è stata scelta la stazione in ambienti che potevano presentare le caratteristiche ecologiche necessarie per la crescita della specie. Questo tipo di campionatura è normalmente utilizzata in studi di carattere preliminare, e presuppone ulteriori approfondimenti soprattutto nelle zone che dimostrano dei pattern anomali di deposizione. Con questo numero di stazioni si è ottenuto il più alto rapporto di campionature per unità di area di tutta l'Europa (c. 5,8 stazioni per 1000 Km<sup>2</sup>).

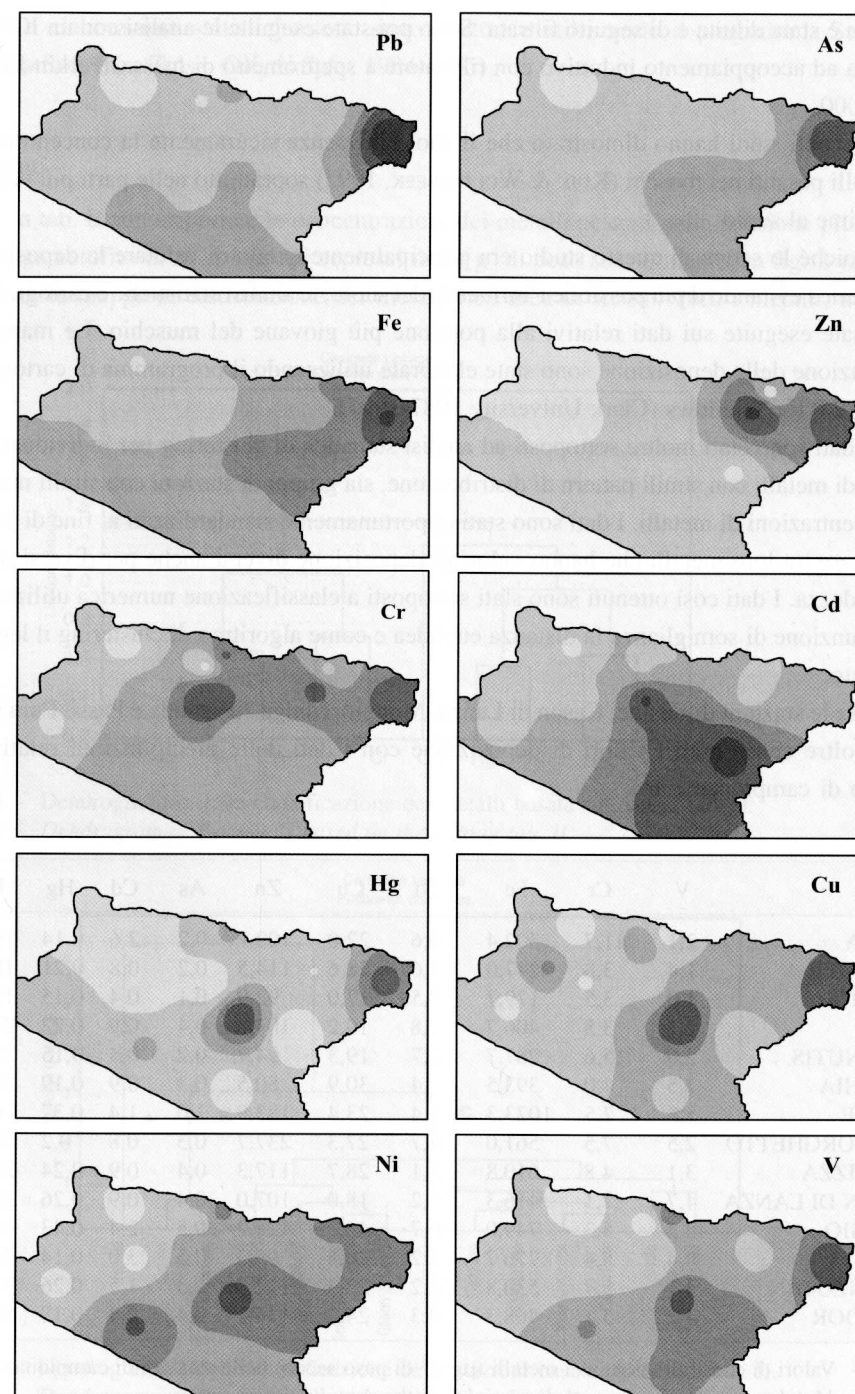
Per la procedura di campionamento è stato seguito rigorosamente il protocollo descritto da RÜHLING (1994). Le stazioni di campionamento sono sempre localizzate in aree non urbane, lontane da fonti di inquinamento e distanti almeno 300 m dalle grandi vie di comunicazione. I campioni sono stati raccolti tra la fine di agosto e gli inizi di ottobre 1996 in un'area di circa 50x50 m ad una distanza di almeno 3 m dal più vicino albero e lontano da cespugli o piante erbacee a foglia larga.

### Analisi chimiche e statistiche

I campioni di *H. splendens* sono stati tenuti in frigoriferi alla temperatura di 4 °C fino al momento della pulitura e di seguito congelati a -12°C fino quando sono iniziate le analisi chimiche.

Durante la preparazione dei campioni sono stati eliminati terra, animali e altre specie di muschi. Ciascun individuo è stato suddiviso in tre palchi: il palco sviluppatosi nel corso dell'ultima stagione vegetativa, quello intermedio, sviluppatosi nella stagione vegetativa precedente, e il palco più vecchio e più prossimo al terreno. Dopo essere stati essiccati in stufa termostata a 40°C fino a peso costante, circa 2 g di muschio sono stati digeriti in una soluzione di acido nitrico concentrato e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> al 30% in forno a microonde. La soluzione

Fig. 2 - Mappe di distribuzione dei metalli nell'area di studio; le mappe sono disposte secondo i risultati della classificazione riportata in fig. 3.  
- *Distribution maps of heavy metal deposition in the survey area; maps are ordered following the classification of fig. 3.*



ottenuta è stata diluita e di seguito filtrata. Sono poi state eseguite le analisi con un ICP-MS (Plasma ad accoppiamento induttivo con rilevatore a spettrometro di massa) Perkin-Elmer-Elan 5000.

Recenti studi hanno dimostrato che il suolo influenza sicuramente la concentrazione di metalli pesanti nei muschi (KUIK & WOLTERBEEK, 1995) soprattutto nelle parti più vecchie e prossime al suolo.

Poiché lo scopo di questo studio era principalmente quello di valutare la deposizione atmosferica evitando il più possibile l'influenza del suolo, le analisi statistiche e cartografiche sono state eseguite sui dati relativi alla porzione più giovane del muschio. Le mappe di distribuzione della deposizione sono state elaborate utilizzando il programma di cartografia IDRISI 2.0 for Windows (Clark University 1987-1997).

I dati sono stati inoltre sottoposti ad analisi statistica di clustering per individuare sia gruppi di metalli con simili pattern di distribuzione, sia gruppi di stazioni con simili modelli di concentrazioni di metalli. I dati sono stati opportunamente standardizzati al fine di potere comparare tra loro metalli che hanno valori di deposizione diversi anche per diversi ordini di grandezza. I dati così ottenuti sono stati sottoposti a classificazione numerica utilizzando come funzione di somiglianza la distanza euclidea e come algoritmo di clustering il legame completo.

Per le stazioni di Fusine, Cason di Lanza, Moggio, Malga Arvenutis e Passo Pura sono stati inoltre confrontati i valori di deposizione con i dati delle precipitazioni relativi al periodo di campionamento.

	V	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
LOVEA	2,1	11,7	302,4	4,6	22,0	109,7	0,2	2,6	0,14	19,8
VALDAIER	1,4	3,8	247,0	3,6	28,6	114,5	0,2	0,8	0,21	18,0
CROSTIS	1,0	3,5	179,7	2,5	17,0	92,9	0,1	0,4	0,15	13,0
PURA	2,7	3,8	406,7	2,8	19,2	101,0	0,4	0,9	0,22	27,9
ARVENUTIS	2,0	5,6	287,7	2,7	19,3	94,7	0,2	0,8	0,15	25,8
FORCHIA	2,5	4,0	393,5	3,4	30,9	80,5	0,3	0,9	0,19	21,6
FUSINE	5,5	7,5	1023,3	5,4	23,4	183,9	1,0	1,4	0,37	70,1
MALBORGHETTO	2,5	7,5	561,0	4,7	27,3	237,7	0,3	0,8	0,2	26,5
UGOVIZZA	3,1	4,8	610,8	5,1	28,7	117,3	0,4	0,9	0,24	23,9
CASON DI LANZA	4,7	7,1	416,3	5,2	18,0	107,0	0,4	0,9	0,26	32,1
MOGGIO	5,5	5,3	749,0	6,7	46,2	124,2	0,5	2,4	0,43	30,9
RESIA	4,4	5,4	776,7	5,2	20,5	95,3	0,5	3,0	0,14	20,5
CHIANZUTAN	4,1	5,7	530,8	6,2	23,3	112,9	0,3	1,5	0,26	31,4
FOREDOR	4,2	5,1	408,3	4,3	24,2	114,1	0,4	2,4	0,18	34,0

Tab. II - Valori di concentrazione dei metalli ( $\mu\text{g g}^{-1}$  di peso secco) nelle stazioni di campionamento.  
- Metal concentration ( $\mu\text{g g}^{-1}$  dry weight) in the sampling stations.

Le elaborazioni statistiche sono state effettuate utilizzando il programma Statistica 5.0 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, U.S.A., 1984-1995).

## Risultati

In tab. II sono riportate le concentrazioni dei metalli pesanti nella porzione più giovane del gametofito di *H. splendens* espressi in  $\mu\text{g g}^{-1}$  di peso secco, mentre in fig. 2 vengono riportate le mappe di distribuzione dei metalli nell'area di studio. Tutti i metalli, tranne il

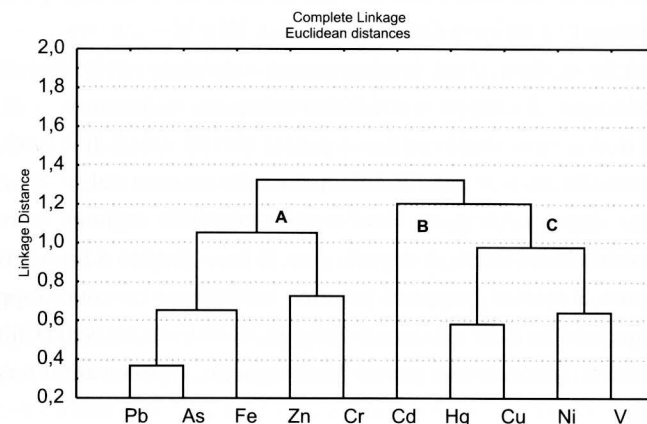


Fig. 3 - Dendrogramma della classificazione dei metalli basata sui dati di tab. II.  
- Dendrogram of the metals based on the data of tab. II.

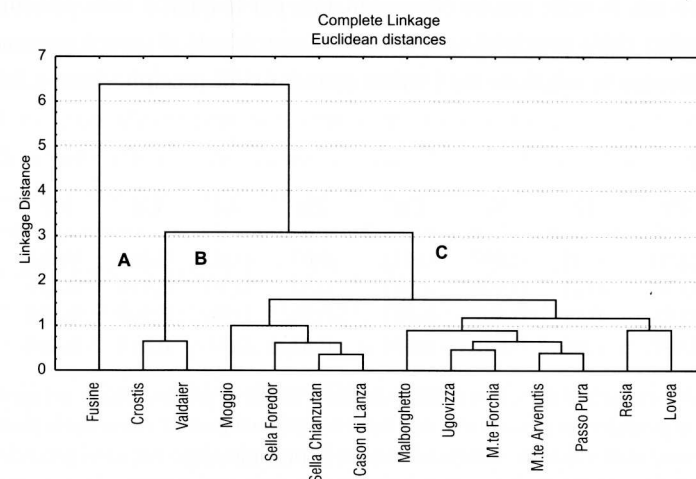


Fig. 4 - Dendrogramma della classificazione delle stazioni basata sui dati di tab. II.  
- Dendrogram of the stations based on the data of tab. II.

Cadmio, presentano un gradiente di concentrazione più o meno evidente in direzione SW-NE, con valori particolarmente elevati nella zona del Tarvisiano e nella Val Resia. Cu, Hg, Pb, Ni e V presentano valori elevati di deposizione anche nella stazione 11 in prossimità di Moggio Udinese.

In fig. 3 viene riportato il dendrogramma dei metalli ottenuto mediante classificazione numerica dei dati di tab. II. Si possono evidenziare tre gruppi principali di metalli. Il gruppo A è formato da cinque elementi (Pb, As, Fe, Zn e Cr), con due sottogruppi ben evidenti, formati rispettivamente da Pb e As e da Zn e Cr. Il gruppo B è formato solamente dal Cd, un elemento che presenta un pattern di distribuzione nettamente diverso da tutti gli altri elementi (vedi fig. 2). Il Gruppo C è infine formato da Hg, Cu, Ni e V.

La classificazione delle stazioni, il cui dendrogramma è riportato in fig. 4, permette di evidenziare tre gruppi principali. Il gruppo A è definito solamente dalla stazione di Fusine, che è situata a Nord-Est dell'area di studio ed ha in genere elevati valori di deposizione di quasi tutti gli elementi considerati. Il gruppo B è formato dalle stazioni del M. Crostis e di Castel Valdaier, che sono situate nella parte Nord-occidentale della regione; entrambe le stazioni sono caratterizzate da bassi livelli di deposizione. Il terzo gruppo è formato da tutte le altre stazioni. All'interno di questo gruppo si possono individuare tre sottogruppi abbastanza ben distinti, il primo formato dalle stazioni di Moggio, Sella Foredor, Sella Chianzutan e Cason di Lanza, il secondo dalle stazioni presso Malborghetto, Ugovizza e il terzo dalle stazioni di Resia e Lovea.

In tab. III vengono riportati i coefficienti di correlazione tra i valori di deposizione e i valori di precipitazione nei quattro mesi antecedenti al periodo in cui sono state effettuati i campionamenti (vedi tab. I) nelle uniche cinque stazioni per le quali è stato possibile recuperare tali dati. I valori delle precipitazioni dei mesi antecedenti al campionamento sono stati sommati per ottenere la relazione tra i valori cumulativi di precipitazione e i valori di

	V	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
LUG	0,003	-0,50	-0,45	0,197	0,411	-0,67	-0,60	0,287	0,087	-0,78
GIU	0,418	-0,10	-0,11	0,596	0,581	-0,34	-0,30	0,521	0,427	-0,48
MAG	0,369	-0,13	-0,11	0,592	0,681	-0,36	-0,36	0,598	0,424	-0,52
APR	0,424	-0,07	-0,06	0,640	0,691	-0,31	-0,31	0,619	0,466	-0,47

Tab. III- Tabella delle correlazioni tra valori di deposizione e livelli di precipitazione nei quattro mesi antecedenti al periodo in cui sono stati effettuati i campionamenti. I valori delle precipitazioni riportati sono stati calcolati sommando anche le precipitazioni dei mesi precedenti.

- Correlation values between heavy metal deposition data and rainfall data relative to the four months before the sampling date. Precipitation data of each month have been merged to the rainfall data of the previous months.

concentrazione di metalli nel muschio. Nessuno dei metalli presenta dei valori di correlazione statisticamente significative (il valore di  $p$  è sempre maggiore di 0.05), tuttavia si possono riconoscere degli andamenti caratteristici. Alcuni metalli, quali V, Ni, Cu, Cd e Hg, presentano un coefficiente di correlazione maggiormente positivo nei mesi primaverili, mentre altri (Cr, Fe, Zn, As e Pb) presentano un coefficiente di correlazione particolarmente negativo soprattutto in luglio.

## Discussione

Il confronto tra le mappe riportate in fig. 2 evidenzia l'esistenza di un gradiente Est-Ovest per quasi tutti i metalli studiati in questa ricerca. Tale gradiente potrebbe essere dovuto ad una fonte antropica che potrebbe essere individuata nella zona industriale di Tarvisio o nelle industrie di oltreconfine. V, Cr, Cd, Zn e Ni sono prodotti che vengono liberati nell'ambiente in elevate quantità in seguito alla lavorazione del ferro e dell'acciaio; queste attività industriali sono effettivamente presenti tanto nel Tarvisiano, quanto nelle zone d'oltreconfine. Va tuttavia sottolineato che le zone nord-orientali del Friuli sono ricche in giacimenti metalliferi sfruttati con alterna intensità fin dai tempi dei romani. Zn, Pb, Cu e Fe sono presenti nei minerali quali blenda (ZnS), galena (PbS), pirite (FeS<sub>2</sub>), calcopirite (CuFeS<sub>2</sub>) e smithsonite (ZnCO<sub>3</sub>) che formano filoni minerari nelle Alpi Giulie Occidentali. Le cave del Predil, poco a Sud di Tarvisio, hanno rappresentato uno dei più importanti giacimenti piombo-zinciferi italiani ed erano sfruttate attivamente fino a pochi anni fa. I venti dominanti in regione sono di provenienza Nord-Est e potrebbero perciò causare la dispersione di questi metalli dalla zona di Tarvisio verso ovest come rappresentato in fig. 2, secondo un gradiente approssimativamente NE-SW. Hg, Cu, Ni e V presentano elevati valori di deposizione anche nella stazione presso Moggio; l'apporto di metalli in questa zona potrebbe avere una diversa origine, come verrà discusso in seguito. L'esistenza di due gruppi distinti di metalli, uno cioè di origine antropica e l'altro di origine naturale, è stata effettivamente messa in evidenza dalla classificazione dei dati di deposizione (fig. 3). Esiste, infatti, una buona distinzione tra gli elementi del gruppo A di fig. 3 (As, Pb, Fe, Zn e Cr) e gli elementi del gruppo C (Hg, Cu, Ni e V). Mentre questi ultimi sono considerati dei buoni traccianti dell'uso di combustibili fossili e sono generalmente legati ad emissioni dovute ad attività industriale come per esempio la lavorazione del ferro e dell'acciaio, i metalli del primo gruppo potrebbero avere una comune origine naturale, che può forse individuarsi nel ciclo geo-biologico legato agli affioramenti rocciosi della zona. Questi elementi possono venire emessi in atmosfera in seguito alle attività estrattive oppure in seguito ad un semplice fenomeno di dispersione in atmosfera dovuto a naturali processi di disgregazione dei minerali dei grandi depositi di materiale incoerente in prossimità delle Cave del Predil. KUK &

WOLTERBEEK (1995) hanno dimostrato, tramite l'analisi delle componenti principali, che nella specie di muschio *Pleurozium schreberi* la concentrazione di metalli pesanti quali Fe, Cr e As è fortemente legata al fattore suolo. Anche PUCKETT (1988), in una review sulla contaminazione di metalli pesanti nei licheni, discute il fatto che elementi quali Fe, Cr e Cu sono spesso legati a una deposizione di origine pedologica naturale. Va ricordato che i risultati finora discussi sono stati ottenuti in base ai valori di concentrazione del palco più giovane del muschio, che ha una contaminazione di origine terrigena più ridotta. Ciò nonostante, sembra che il fattore suolo eserciti comunque una certa influenza sui pattern di deposizione di metalli in *Hylocomium splendens*. È da notare che i suoli di queste zone contengono elevate concentrazioni di questi stessi metalli (AA.VV., 1997).

Il dendrogramma delle stazioni di campionamento (fig. 4) evidenzia come la stazione di Fusine abbia delle caratteristiche peculiari che la differenziano nettamente da tutte le altre. Essa presenta effettivamente valori di deposizione particolarmente elevati soprattutto di As, Pb e Fe. Il gruppo B di fig. 4 è formato dalle stazioni caratterizzate dai più bassi valori di deposizione di tutta l'area di studio: queste stazioni sono disposte nel settore endocarnico, e vengono probabilmente interessate solo in minima parte dai fenomeni responsabili delle deposizioni presenti nel resto dell'area di studio e ricevono, per questa ragione, un minore apporto di metalli pesanti.

È possibile che i diversi valori di concentrazione di metalli nei tre sottogruppi di stazioni del gruppo C (vedi fig. 4) siano legati alle diverse caratteristiche geografiche e/o climatiche delle stazioni. Ad esempio, le stazioni del primo sottogruppo, eccetto la stazione 10 presso Cason di Lanza, sono situate nella parte più meridionale dell'area di studio, oppure lungo vallate disposte in direzione Nord-Sud. Le stazioni che caratterizzano il secondo e il terzo sottogruppo, tranne la stazione 1 (Lovea) sita nella stessa vallata della stazione 10, sono situate lungo le vallate in direzione Est-Ovest alcune verso Est come le stazioni 9 (Ugovizza) e 8 (Malborghetto) alcune verso Ovest come le stazioni 4 (Passo Pura), 5 (Malga Arvenutis) e 6 (M.te Forchia).

Questi raggruppamenti potrebbero essere messi in relazione con i modelli delle precipitazioni nella regione montuosa del Friuli. Infatti le perturbazioni, soprattutto quelle primaverili, tendono a provenire dalla pianura friulana a Sud e risalire le vallate prealpine fino alle pendici montagnose dove danno origine alle abbondanti precipitazioni caratteristiche di queste zone. I livelli delle precipitazioni sono elevati soprattutto di fronte ai gruppi montuosi ad Est (Catena dei Musi) e ad Ovest (Gruppo del M.te Verzegnis) della regione mentre nella parte centrale le perturbazioni tendono ad incanalarsi verso le vallate in direzione S-N arrivando più a Nord fino ai primi rilievi montuosi intorno alla zona di Moggio (GENTILLI, 1964). Al contrario, le vallate interne poste in direzione E-O risentono meno degli effetti di queste perturbazioni ed i modelli delle precipitazioni di queste vallate sono alquanto diversi da quelli

delle vallate poste in direzione S-N. È da notare che la suddivisione delle stazioni da noi individuata (fig. 3) è simile a quella ottenuta da CESCHIA et al. (1991), che hanno analizzato i modelli delle precipitazioni del settore sud-est Alpino mediante tecniche di clustering.

Un'ulteriore conferma dell'esistenza di una correlazione tra i modelli di deposizione di metalli e i fenomeni atmosferici è data dai trend trovati tra i valori di precipitazioni e le concentrazioni di metalli di tab. III. I valori di correlazione di tab. III permettono infatti di dividere i metalli in due gruppi che sono uguali a quelli definiti in base al dendrogramma di fig. 3. I valori delle concentrazioni dei metalli del gruppo B (Hg, Cu, Ni e V) e del Cadmio sono positivamente correlate con le precipitazioni, soprattutto con quelle causate dalle perturbazioni dei mesi primaverili. Questa relazione indica che la deposizione di questi metalli aumenta con i livelli di precipitazione e si potrebbe dunque supporre una loro origine alloctona, legata alle perturbazioni provenienti dalla pianura. Al contrario i valori negativi del coefficiente di correlazione di tab. III suggeriscono che le precipitazioni non apportano quantità apprezzabili dei metalli del gruppo A del dendrogramma di fig. 3 (Pb, Fe, Zn, Cr e As), ma al contrario esercitano un processo di dilavamento del particolato di origine terrigena che si deposita sulla superficie del muschio durante tutto l'anno.

## Conclusioni

Questo studio evidenzia come i modelli di deposizione di metalli pesanti in *H. splendens* possono essere fortemente condizionati dai fattori climatici, soprattutto dai regimi delle precipitazioni, dai venti e dall'orografia locale oltre che da emissioni di origine antropica. Tutti questi fattori possono influenzare profondamente i pattern di deposizione di metalli pesanti in zone anche non molto distanti geograficamente; è quindi importante, per ottimizzare i modelli di studio di biomonitoraggio tramite l'utilizzo di bioindicatori vegetali, approfondire gli studi sulle relazioni tra questi fattori ambientali e i modelli di deposizione dei metalli nei tessuti delle specie utilizzate come bioindicatori.

Ulteriori approfondimenti dovranno essere effettuati anche in relazione alle distribuzioni locali soprattutto in alcune zone, come per esempio le zone del Tarvisiano, caratterizzate da un modello di deposizione che sembra essere influenzato da diversi fattori, anche di origine antropica.

Va infine rilevato che i valori in tutta l'area studiata sono sensibilmente elevati se confrontati con quelli di altri stati europei. Del resto anche uno studio sulla deposizione dei metalli pesanti sul suolo eseguita dalla (AA.VV., 1997) ha messo in evidenza le elevate concentrazioni di metalli pesanti nella stessa area di studio, e l'esistenza di modelli di distribuzione piuttosto simili a quelli riportati in questo articolo.

