

**Parco Nazionale dei Monti Sibillini: suoli e muschi indigeni per
valutare le ricadute di elementi in tracce**

di

M. Aleffi¹, R.M. Cenci²

¹Università degli Studi di Camerino
Dipartimento di Botanica ed Ecologia
Via Pontoni, 5
Camerino (MC) Italia

²Commissione Europea
Centro Comune di Ricerca di Ispra
Istituto dell'Ambiente, Unità Suolo e Rifiuti
21027 Ispra (VA) Italia

(Gli autori hanno contribuito in ugual misura alla realizzazione della ricerca)

Contratto Università di Camerino n° 16337-2000-06 T1SC ISP IT.

CONTENUTO

PREFAZIONE	3
RIASSUNTO	4
1. INTRODUZIONE	5
2. MATERIALI E METODI	6
2.1 Campioni di muschio e suolo	6
2.2 Strumentazione, reattivi e standard	7
2.3 Trattamento dei campioni di muschio e mineralizzazione acida in forno a microonde	8
2.4 Trattamento dei campioni superficiali di suolo e mineralizzazione acida in forno a microonde	9
3. DISCUSSIONE RISULTATI	9
3.1 Coefficiente di Variazione	9
3.2 Determinazione della concentrazione totale di Hg in suoli e muschi	10
3.3 Mercurio nei muschi	10
3.4 Mercurio nei suoli	11
3.5 Analisi di Pt, Pd e Rh	12
3.6 Platino, Palladio e Rodio nei muschi	13
3.7 Alluminio	13
3.8 Arsenico	14
3.9 Cadmio	15
3.10 Cromo	16
3.11 Rame	17
3.12 Nichel	18
3.13 Piombo	19
3.14 Zinco	20
3.15 Suoli	21
4. CONCLUSIONI	23
5. BIBLIOGRAFIA	24

PRESENTAZIONE

Il Parco Nazionale dei Monti Sibillini si estende su di una superficie di circa 70.000 ettari a cavallo delle Regioni Marche e Umbria. Lungo la linea di cresta decorre anche lo spartiacque fra il versante tirrenico e quello adriatico. Esso rappresenta il gruppo montuoso più importante delle due regioni e presenta tutte le caratteristiche della montagna appenninica con alcune cime che superano i 2000 metri di altitudine. Tra esse spiccano il Monte Vettore (2476 m), la cima del Redentore (2448 m), il Monte Priora (2332 m), il Monte Sibilla (2175 m). Dall'asse principale della dorsale appenninica degradano un versante orientale, caratterizzato da valli strette e orientate a nord, ed un versante occidentale in cui si rilevano tre caratteristiche depressioni ad alta quota denominate i Piani di Castelluccio (Pian Perduto, Pian Grande e Pian Piccolo). Dal massiccio dei Sibillini nascono i fiumi Aso, Tenna, Ambro e Nera. Nel Parco sono inoltre situati il Lago di Fiastra (artificiale) e, sotto la cima del Monte Vettore, ad una altitudine di 1940 m, il Lago di Pilato.

Il Gruppo dei Sibillini è di natura completamente calcarea con rocce che appartengono al Lias, Creta e Giura; è caratterizzato da una morfologia molto varia con montagne dirupate, ghiaioni, detriti di falda, valli profondamente incise, gole rocciose e forre, vasti piani carsici. Esso costituisce una unità geografica ben definita, che racchiude aspetti ambientali e naturalistici di eccezionale interesse, nonostante le manomissioni e le alterazioni subite nel corso dei secoli e in questi ultimi anni. Nonostante siano numerose le emergenze naturalistiche che insistono nell'area del Parco, la presenza di ben 17 comuni, alcuni di una certa consistenza, pone non pochi problemi sotto l'aspetto della gestione, sia per i problemi connessi con l'impatto antropico determinato da una così massiccia presenza di centri abitati, sia per l'impatto turistico, in particolare legato alla presenza di numerosi impianti sciistici, molto frequentati nel periodo invernale.

Il Parco è infine molto ricco di entità architettoniche importanti, mirabilmente inserite nel paesaggio, come abbazie, monasteri, chiese, torri, castelli, fortificazioni, mulini, case-torri, ecc. Da qui l'esigenza da parte dell'Ente Parco, all'inizio della propria attività (il Parco Nazionale dei Monti Sibillini è stato istituito nel 1993) di avere un quadro della qualità ambientale sull'intero territorio protetto, e che permettesse di individuare eventuali fonti particolari di inquinamento allo scopo di approntare ed orientare le opportune azioni di salvaguardia.

E' nata così l'opportunità della collaborazione fra la Direzione del Parco, il Dipartimento di Botanica ed Ecologia dell'Università di Camerino e l'Istituto dell'Ambiente del Centro Comune di Ricerca della Commissione Europea di Ispra, che ha portato alla commissione e realizzazione di questa ricerca.

Lo studio si è sviluppato su tutto il territorio del Parco, con l'individuazione di 22 stazioni di rilevamento localizzate soprattutto in prossimità dei centri abitati e delle aree a più alto impatto antropico (in particolare le aree turisticamente più frequentate). I risultati della ricerca rappresentano senz'altro, oltre ai dati qualitativi e quantitativi che si possono evincere dalla relazione finale dello studio, e che depongono per una buona qualità ambientale dell'area monitorata) un punto di partenza per future collaborazioni fra i tre Enti sopra menzionati.

Una possibilità particolarmente interessante potrà essere rappresentata dall'utilizzo di muschi trapiantati. L'anno 2000 potrà essere in tal modo considerato l'anno zero da cui partire per questo ulteriore tipo di indagini che permetteranno, con costi estremamente contenuti, di monitorare periodicamente l'area del Parco ed avere così costantemente sotto controllo un territorio così ricco di valenze naturali, paesaggistiche e culturali come è quello dei Monti Sibillini.

Dr. Michele Aleffi

RIASSUNTO

Le ricadute al suolo di Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn e Pt, Pd e Rh (in quattro campioni di muschio) sono state valutate utilizzando muschi e suoli raccolti nel Parco Nazionale dei Monti Sibillini. I valori di concentrazione nei campioni di muschio, per la quasi totalità degli elementi indagati, hanno evidenziato un ambiente poco antropizzato. Contestualmente i suoli presentano ridotte concentrazioni che permettono un qualsiasi tipo di utilizzo. L'abbinamento suolo-muschio ha permesso di identificare l'origine delle ricadute degli elementi, che per una buona parte di essi è risultata essere di origine crostale.

L'applicazione del Coefficiente di Variazione ha contribuito a comprendere le diversità delle deposizioni dell'intera area, dai risultati ottenuti esse sono da considerarsi alquanto uniformi.

I risultati ottenuti in questa ricerca, hanno confermato come i muschi possano essere impiegati con successo per valutare le ricadute al suolo di contaminanti persistenti quali i metalli pesanti.

Riassunto in inglese

1. INTRODUZIONE

Il monitoraggio dell'inquinamento atmosferico, o meglio dire una parte, è comunemente effettuato impiegando apparecchiature a volte complesse e complicate: le centraline elettroniche di rilevamento. Tali strumenti forniscono, in tempo reale e con risultati precisi, l'andamento della concentrazione degli inquinanti. Si tratta di un rilevamento di tipo puntiforme e richiede alti costi di gestione; è necessario cercare nuovi strumenti, che siano in grado di considerare la dispersione, il trasporto e le ricadute degli elementi su vaste aree. Solo i bioindicatori forniscono indicazioni sugli effetti biologici di una determinata situazione di inquinamento, tenendo in considerazione in modo "naturale" il sinergismo tra le varie sostanze tossiche.

Il biomonitoraggio offre, inoltre, garanzie di buona attendibilità, essendo possibile impiegare organismi diversi per vari inquinanti e fornisce informazioni retroattive, poiché i sintomi possono essere riscontrati anche ad una certa distanza dall'episodio di inquinamento.

Le piante superiori offrono notevoli possibilità come indicatori, in quanto, avendo scambi gassosi con l'ambiente molto superiori a quelli dell'Uomo e degli animali ed una minor complessità dei sistemi di difesa se si escludono la detossificazione e la riparazione, presentano una sensibilità maggiore nei confronti di molte sostanze inquinanti. La maggior parte delle piante vascolari previene l'assorbimento e la traslocazione degli inquinanti presenti nel suolo, immobilizzandoli nella membrana plasmatica delle radici o nelle ife delle micorrize. Grazie a questa capacità di "esclusione", moltissime specie di piante superiori riescono a prevenire eventuali effetti tossici degli inquinanti presenti nel suolo ed a mantenere piuttosto costante la composizione elementare dei loro tessuti.

Molti contaminanti atmosferici sono associati al "particolato" e, negli ecosistemi terrestri, le foglie degli alberi e le piante erbacee costituiscono la componente biotica più esposta alla sedimentazione, all'impatto e alla intercettazione degli aerosol. L'intercettazione dipende dalla disposizione e morfologia delle foglie e da "effetti di superficie" impossibili da riprodurre nelle apparecchiature di campionamento del particolato atmosferico. L'analisi delle piante vascolari è un valido approccio per valutare il trasferimento dei contaminanti ai consumatori primari e, ai livelli più elevati delle catene trofiche terrestri. La maggior parte degli alberi tollera concentrazioni piuttosto elevate di inquinanti atmosferici fitotossici; alcune specie sono state introdotte in quasi tutti i continenti e, grazie alla propagazione vegetativa, sono caratterizzate da notevole uniformità genetica. Tra le applicazioni delle piante vascolari, si può ricordare l'uso delle piante del tabacco per biomonitorare l'ozono, l'uso delle Leguminose (erba medica, trifoglio) e di alcune cultivar di bulbose da fiore (tulipano e gladiolo) per valutare, rispettivamente, inquinamento da biossido di zolfo (SO₂) e fluoruri.

L'utilizzo dei muschi come bioaccumulatori offre notevoli vantaggi nel monitoraggio di elementi in tracce, in quanto essi ricevono prevalentemente le sostanze per il loro sostentamento direttamente dall'ambiente aeriforme che li circonda, riuscendo a vivere in ambienti ad elevata contaminazione. Inoltre, i risultati ottenuti con questa tecnica sono stati confermati da quelli acquisiti con le centraline di monitoraggio convenzionale. Occorre tuttavia precisare che affinché i dati acquisiti mediante i bioindicatori siano accettati a pieno titolo occorre che tutte le procedure, dal campionamento all'elaborazione dei risultati, seguano in modo scrupoloso norme con un protocollo uniformato.

Nel caso specifico, per le informazioni che si volevano trarre, è stata privilegiata la tecnica che vede l'utilizzo dei muschi indigeni (memoria passata) per valutare le deposizioni atmosferiche di origine antropica. Il suolo influisce in minima parte in quanto i muschi sono privi di vere radici e di un tessuto di conduzione per l'acqua; il substrato deve in ogni caso venire raccolto per valutare l'effetto suolo.

Il presente studio intende valutare l'accumulo di elementi in tracce derivanti da attività antropiche e/o crostali mediante campioni di suolo e muschio indigeno. Il muschio utilizzato appartiene alla specie *Hypnum cupressiforme* (Figura 1), che è stata preferita in quanto ubiquitaria su quasi tutto il territorio europeo.

Occorre precisare che il tempo ricoperto dai muschi indigeni (memoria passata) può essere valutato in 6-8 anni, la crescita annuale del muschio appartenente alla specie *Hypnum cupressiforme* è stimata in 4-5 mm/anno, nell'area oggetto di studio.

Per tutte le procedure di campionamento del muschio e del suolo, per le operazioni successivamente eseguite, sino ai valori di concentrazione, sono state seguite le metodiche accettate e pubblicate dall'Agenzia Nazionale Protezione Ambiente (A.N.P.A.) (Cenci, 1999).

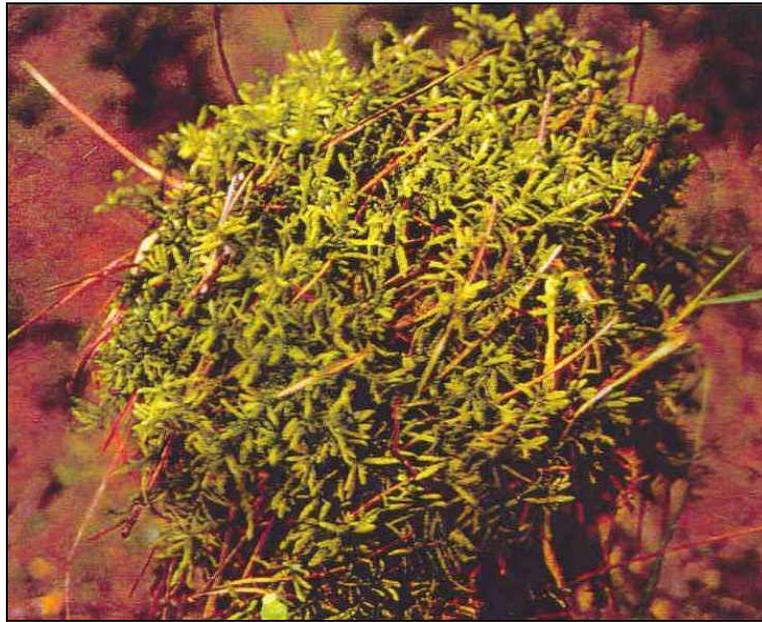


Figura 1. *Hypnum cupressiforme*

2. MATERIALI E METODI

2.1. Campioni di muschio e suolo

I 44 campioni di muschio e di suolo sono stati raccolti da personale specializzato dell'Università degli Studi di Camerino (MC), successivamente spediti, in contenitori pretrattati di polietilene, all'Unità Suolo e Rifiuti dell'Istituto dell'Ambiente del Centro Comune di Ricerca della Commissione Europea di Ispra. La mappa raffigurante le località di campionamento è rappresentata nella Figura 2; nella Tabella 2 vengono riportati i dati altimetrici.

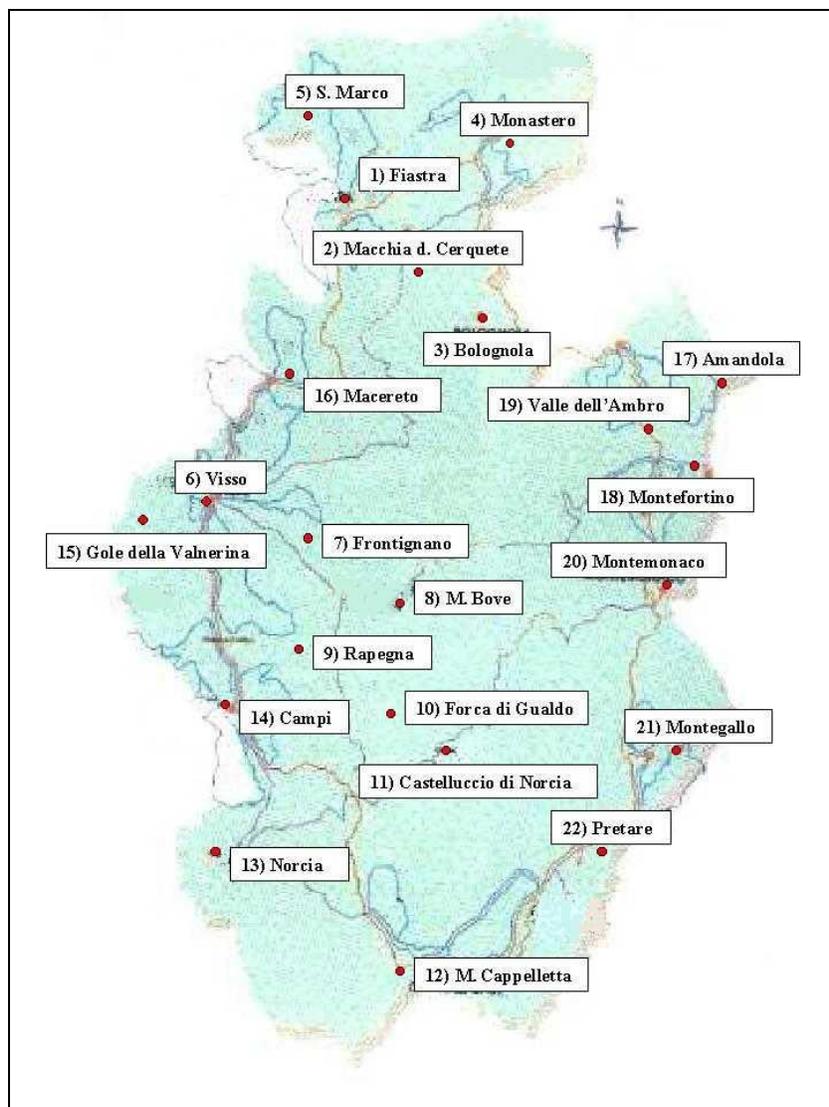


Figura 2. Localizzazione delle stazioni di campionamento

2.2. Strumentazione, reattivi e standard

Vengono di seguito riportate le apparecchiature, i reattivi e gli standard che sono stati utilizzati per la determinazione delle concentrazioni dei campioni oggetto di contratto.

Forno a microonde (ETHOS 1600 Milestone) per la digestione acida dei muschi con potenza di 1200 W e frequenza di 2450 MHz. I contenitori per i campioni sono in TFM (Teflon). Vetreria di classe A.

Strumentazione che è stata utilizzata per la determinazione degli analiti in soluzione acquosa e/o solida, che garantisca una sensibilità adeguata alla rivelazione di quantità minime di analita che sono presenti nei muschi e nei suoli:

- ICP-MS (HP 7500 Agilent Technologies)
- AAS solido/liquido per la determinazione del Hg (AMA 254)

Reattivi e soluzioni standard:

- HNO₃ 67% (p/v) ad elevata purezza (es. Suprapur Merck)
- H₂O₂ 30% (p/v) ad elevata purezza (es. Suprapur Merck)
- H₂O ad Elevata Purezza, preparata con sistema Milli-Q. bidistillata
- Soluzioni standard multiple preparate a partire da standards disponibili in commercio (es. Merck Titrisol 1g/l)

Materiali certificati standard:

- CRM (Certified Reference Material)
- NIST (National Institute of Standardization)

2.3. Trattamento dei campioni di muschio e mineralizzazione acida in forno a microonde

I campioni di muschio ricevuti, dopo minuzioso controllo, venivano posti in stufa alla temperatura di 45 °C per un periodo di 48 ore, successivamente macinati utilizzando un mortaio con corpo e sfere in agata per minimizzare le contaminazioni di metalli. I campioni di muschio macinati sono stati posti con il loro contenitore senza tappo in stufa alla temperatura di 45 °C quattro ore prima dell'operazione di pesata.

Successivamente il contenitore, tolto dalla stufa e tappato, veniva agitato per 3 minuti per omogeneizzare il macinato. Si procedeva a pesare direttamente nei contenitori in teflon 200-250 mg circa di muschio macinato con una bilancia analitica. Venivano aggiunti 5 ml di HNO₃ e 2.5 ml di H₂O₂.

Di seguito i contenitori erano ermeticamente chiusi utilizzando una chiave dinamometrica e posti nel carosello all'interno del forno a microonde.

Condizioni operative utilizzate:

- 1 minuto alla potenza di 250 Watt
- 2 minuti alla potenza di 0 Watt
- 5 minuti alla potenza di 250 Watt
- 5 minuti alla potenza di 400 Watt
- 5 minuti alla potenza di 600 Watt
- 2 minuti di ventilazione

Terminato il programma termico, i contenitori erano lasciati raffreddare e aperti lavorando sotto cappa aspirante. La soluzione di ciascun contenitore è stata quantitativamente trasferita con acqua ad Elevata Purezza (EP) in matracci tarati da 25 o 50 ml.

Per ogni 4 mineralizzazioni di campioni di muschio e di suolo venivano trattati nello stesso modo 1 campione standard di riferimento e 1 bianco composto solamente dalle stesse quantità di reagenti utilizzati per i campioni secondo la procedura sopra descritta.

Ciascuna soluzione (campioni di muschio, suolo, standard e bianchi) è stata analizzata almeno 2 volte, fornendo successivamente il valore medio.

Tali soluzioni sono servite per determinare la concentrazione di Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn e Pt, Pd e Rh in quattro campioni di muschio.

2.4. Trattamento dei campioni superficiali di suolo e mineralizzazione acida in forno a microonde

L'analisi del suolo serve per valutare l' "effetto suolo" (aumento di concentrazione causato da particelle terrigene che dal suolo si depositano sulle foglioline dei muschi) per ottenere il Fattore di Arricchimento (F.A.) che si ottiene dal rapporto (Concentrazione Elemento nel muschio/Concentrazione di Al nel muschio, diviso Concentrazione Elemento nel suolo/Concentrazione Al nel suolo).

I campioni di suolo sono stati essiccati in stufa a 45°C per 48 ore, setacciati utilizzando un setaccio in polietilene avente maglie di 2 mm, la frazione inferiore o uguale a 2 mm è stata macinata con mulino e sfere di agata. Sono stati pesati circa 500 mg con bilancia analitica direttamente nei contenitori in teflon per la successiva mineralizzazione mediante microonde.

Per la mineralizzazione dei campioni di suolo sono stati utilizzati 5 ml HNO₃ e 2,5 ml H₂O₂.

Il programma utilizzato per suoli si discosta da quello utilizzato per i muschi, esso è qui riportato:

5 minuti alla potenza di 250 watt
5 minuti alla potenza di 400 watt
15 minuti alla potenza di 500 watt
2 minuti di ventilazione.

Terminato il programma termico si è proceduto come per i campioni di muschio. Le soluzioni così ottenute sono servite per analizzare la concentrazione degli stessi elementi indagati nei muschi, fatta eccezione per Pt, Pd e Rh.

3. DISCUSSIONE DEI RISULTATI

3.1. Coefficiente di Variazione

Prima di iniziare la discussione si rende necessario introdurre il significato che racchiude il Coefficiente di Variazione, i suoi valori permettono una interpretazione corretta dei risultati ottenuti analizzando i muschi. Il Coefficiente di Variazione (CV%) intra-area, che riassume tutti gli errori compiuti dal momento del campionamento all'analisi, deve venire stimato dal ricercatore utilizzando una tra le stazioni indagate, oppure, con buona approssimazione, si potranno utilizzare i risultati riportati in Tabella 1. Esso serve a capire se una variazione di concentrazione degli elementi è imputabile a deposizioni avvenute o, alla variabilità di concentrazione che si riscontra in una medesima stazione o area di campionamento. Il CV% deve venire valutato sia quando si intende utilizzare i muschi indigeni sia per l'impiego dei muschi trapiantati. Occorre procedere al campionamento nel modo seguente: cercare un'area ricca di muschio che formi un compatto cuscinetto e delimitare con un filo di nylon un quadrato avente lato 1 metro, suddividerlo in 9 sotto-quadrati con lato pari a 33 cm. In ciascuno dei 9 sotto-quadrati raccogliere i tessuti apicali di una medesima lunghezza (es. 3 cm). Dalle soluzioni ottenute occorre effettuare 5 volte la ripetizione dell'analisi per ogni elemento per ricavare, oltre al valore medio, il CV %.

Tabella 1. Coefficienti di Variazione di alcuni elementi ottenuti nel reticolo raccolto in una località della provincia di La Spezia (l'elevato valore ottenuto per l'elemento Cr è presumibilmente imputabile al processo di mineralizzazione)

	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Ti	V	Zn
CV %	19.8	11.7	32.1	12.6	18.4	22	6.8	22.7	11.1	20.8	17.4	20.4

3.2. Determinazione della concentrazione totale di Hg in suoli e muschi

La concentrazione di Hg totale è stata effettuata analizzando direttamente le soluzioni solide sia dei muschi sia dei suoli. E' stato utilizzato uno Spettrometro ad Assorbimento Atomico per campioni solido/liquidi, modello AMA 254. I valori di concentrazione sono riportati in tabella 2, essi corrispondono alla media di due determinazioni indipendenti; inoltre su di un campione di muschio e di suolo, scelti in modo casuale, venivano eseguite indipendentemente cinque ripetizioni. La bontà del dato analitico è stata valutata analizzando più campioni di riferimento, i valori di concentrazione ottenuti sono stati all'interno della tolleranza certificata (Tabella 3).

3.3. Mercurio nei muschi

Tutti i valori di concentrazione degli elementi riscontrati in questa ricerca vengono confrontati con le concentrazioni italiane ed europee pubblicate da Ruhling e Steinnes (1998).

Il mercurio è presente nell'atmosfera in forma solida e gassosa, la combustione di carbone e rifiuti, processi cloro-alcalini, produzione di pile, amalgami dentali ed esalazione dal suolo sono le principali fonti di immissione dell'elemento nell'ambiente.

La tossicità verso l'uomo è molto elevata, inoltre il mercurio inibisce numerosi processi enzimatici. La distribuzione della concentrazione dell'elemento Hg, nei suoli e nei muschi (Figura 3 e Tabella 2) e l'accuratezza del dato analitico (Tabella 3) sono discusse separatamente dal contesto generale poiché i risultati sono stati ottenuti trattando in modo differente i campioni dal punto di vista preparativo e analitico. Per l'elemento mercurio e per tutti gli elementi analizzati le differenze del tasso di crescita non sono state considerate in quanto non note; vista la diversità altimetrica delle stazioni di campionamento si può dedurre che esistano differenze di crescita (Zechmeister, 1998). I valori di concentrazione ottenuti analizzando i muschi sono compresi tra 0.04 e 0.09, valore medio pari a 0.06 mg kg⁻¹, essi rappresentano nel loro insieme una buona uniformità con valori leggermente inferiori se si confrontano con i risultati italiani, i valori europei sono alquanto simili a quelli riscontrati nelle briofite del Parco Nazionale dei Monti Sibillini. Una eccezione deve essere fatta per nazioni quali Olanda e Danimarca i cui valori medi sono rispettivamente 0.17 e 0.11 mg kg⁻¹. Recenti studi sono stati eseguiti su muschi e suoli raccolti nella provincia di La Spezia (Cenci e Palmieri, 1997), tale area è notoriamente famosa per la presenza sul suo territorio di un impianto per la produzione di energia elettrica; l'analisi in 23 stazioni ha evidenziato una situazione differente all'area oggetto di studio, con valori di Hg totali compresi tra 0.003 e 0.36 mg kg⁻¹. Un altro esempio viene fornito da uno studio effettuato nella Provincia di Reggio Emilia: in una area a bassa pressione antropica i valori sono risultati di poco superiori con una concentrazione media di 0.08 mg kg⁻¹ (Cenci *et al.*, 2000). Applicando al valore medio il CV %, che per l'elemento Hg è 22, si

può affermare che le deposizioni tendono essere uniformi su quasi tutta l'area indagata. Quanto detto deve essere collegato alla presenza in atmosfera della quasi totalità dell'elemento, le immissioni puntiformi quali industrie, strade, ecc., possono influenzare solamente quelle aree poste nelle loro immediate vicinanze. Dai risultati ottenuti dal Fattore di Arricchimento si evince che l'origine, per la quasi totalità dei campioni, deve essere imputata alle attività dell'uomo o naturali che possono essere svolte anche in aree molto distanti da quelle dove sono stati raccolti i muschi, una significativa influenza del suolo deve essere quindi esclusa.

3.4. Mercurio nei suoli

Una buona uniformità nella distribuzione spaziale della concentrazione di Hg nei suoli è rappresentata dai risultati, l'intervallo di concentrazione è compreso tra 0.01 e 0.16, con un valore medio di 0.08 mg kg^{-1} . La situazione risulta di assoluta sicurezza per tutti gli usi che possono essere fatti con i suoli superficiali qui considerati, essendo la concentrazione riscontrata ampiamente inferiore al valore di 1 mg kg^{-1} . Tale valore è adottato dai criteri per la qualità dei suoli della Regione Lombardia quale limite massimo per i suoli italiani non contaminati (Pitea *et al.*, 1998). Parimenti per l'utilizzo dei suoli a verde/agricolo i valori limite sono pari a 2, salendo per suoli residenziali a 10.

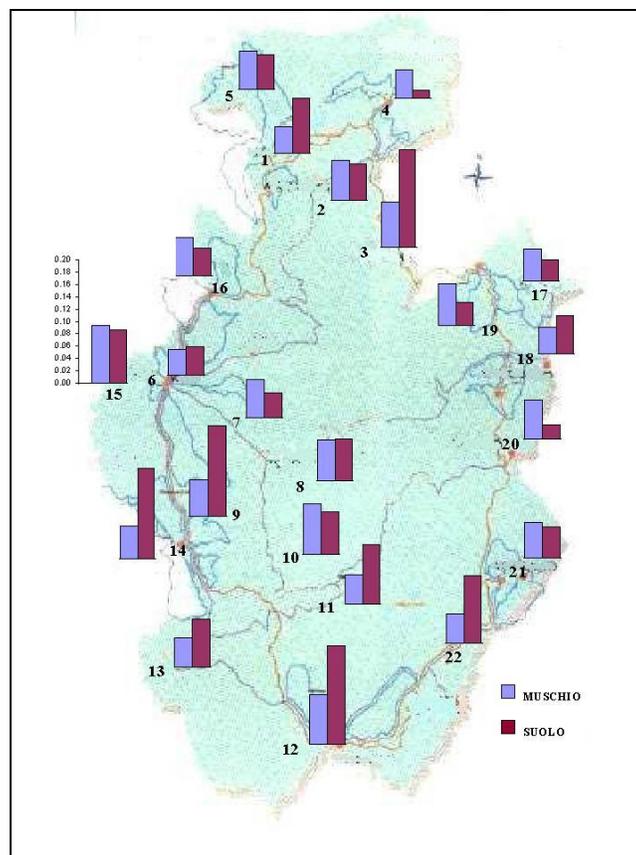


Figura 3. Distribuzione della concentrazione di Hg (mg kg^{-1} massa secca) in muschi e suoli superficiali

3.5. Analisi di Pt, Pd e Rh

La misura si riferisce a quattro campioni di muschio opportunamente disciolti e diluiti in soluzione acida per acido nitrico. La determinazione dei tre elementi, la cui provenienza è prevalentemente di natura catalitica-veicolare, è stata effettuata per ICP MS (HP 7500 Agilent Technologies). Sono state fatte delle prove preliminari, di ordine "semiquantitativo", utili a individuare l'ordine di grandezza delle concentrazioni presenti al fine di preparare una curva di calibrazione la più appropriata possibile.

In seguito a ciò, in una Clean-room di classe <100, sono stati preparati, per pesata e con molta accuratezza, tre standards necessari alla costruzione della curva. Questi sono stati di concentrazione pari a: 0.0368 ppb, 0.0976 ppb e 0.8382 ppb.

Il campione è stato aspirato e, poi, nebulizzato con un sistema Micro Concentric Nebulizer (MCN) prima di essere introdotto nella sorgente al plasma dove è stato ionizzato. Gli ioni prodotti, focalizzati e deflessi in funzione della loro massa, sono stati conteggiati su un fotomoltiplicatore.

Ciascuna misura, costituita da 5 runs ripetuti, ha fornito una media la cui deviazione standard relativa è sempre risultata inferiore a 5%. I tre standards, nella costruzione della curva, hanno fornito una linearità migliore del 2%. Il bianco strumentale è risultato di ordine di grandezza inferiore alla concentrazione misurata per tutti gli elementi (Tabella 4).

Tabella 2. Concentrazione totale di Hg in campioni di muschio e suolo

(m.s.l.) Staz. di campionamento			Hg (mg kg ⁻¹)	
			muschio	suolo
1	700	Fiastra	0.04	0.09
2	826	Macchia delle Cerquete	0.07	0.06
3	1000	Bologna	0.07	0.16
4	900	Monastero	0.05	0.01
5	611	S. Marco	0.06	0.06
6	600	Visso	0.04	0.05
7	1300	Frontignano	0.06	0.04
8	1700	M. Bove	0.07	0.07
9	840	Rapegna	0.06	0.15
10	1450	Forca di Gualdo	0.08	0.07
11	1600	Castelluccio di Norcia	0.05	0.10
12	1500	M. Cappelletta	0.08	0.16
13	700	Norcia	0.05	0.08
14	700	Campi	0.05	0.15
15	570	Gole della Valnerina	0.09	0.09
16	1100	Macereto	0.06	0.05
17	450	Amandola	0.05	0.04
18	600	Montefortino	0.04	0.06
19	615	Valle dell'Ambro	0.07	0.04
20	950	Montemonaco	0.06	0.02
21	670	Montegallo	0.06	0.05
22	1095	Pretare	0.05	0.11
		Minimo	0.04	0.01
		Massimo	0.09	0.16
		Medio	0.06	0.08
		Media Italia	0.07	
		Media europea	0.08	

3.6. Platino, Palladio e Rodio nei muschi

Non trovando in bibliografia valori di concentrazione di platino, palladio e rodio in muschi, l'unica comparazione dei risultati è qui proposta con la concentrazione riscontrata in campioni di muschio raccolti in località ad elevato traffico veicolare quale la portineria del Centro Comune di Ricerca di Ispra (CCR) e in una località remota (fondo). Si può osservare come i valori, inerenti le quattro stazioni, siano qualitativamente vicini alle concentrazioni di fondo indicativi per aree a bassa frequenza automobilistica. Quanto, in precedenza, detto per l'elemento Hg è confermato dai risultati dei tre metalli in oggetto: l'area soggetta ad indagine registra una ridotta pressione antropica.

Tabella 3. Accuratezza e riproducibilità del dato analitico

Campione muschio (S. Marco) rip. 5 volte	0.064±0.0007		
Campione suolo (Monastero) rip. 5 volte	0.013±0.0002		
	Materiali di riferimento utilizzati		
	CRM 62	NIST 1571	CRM 320
	olea europaea	orchard leaves	river sediment
	0.29	0.15	0.92
	0.27	0.14	0.95
	0.30	0.14	0.92
	0.29	0.15	0.89
	0.29	0.14	1.03
		0.14	
Media±dev.standard	0.29±0.01	0.143±0.005	0.94±0.05
Val.Certificato	0.28±0.02	0.155±0.015	1.03±0.16

Tabella 4. Raffronto tra le concentrazioni riscontrate al CCR di Ispra, una località remota e i valori del Parco Naturale dei Monti Sibillini

Stazione	CCR	fondo	6	13	15	17	bianco	bianco
					(µg kg ⁻¹)			
Rh	3.4	0.9	1.2	0.8	1.4	0.85	0.003	0.004
Pd	29.7	14.8	22.5	15.5	17.3	22.8	0.029	0.030
Pt	2.5	0.9	0.6	0.4	0.4	0.3	0.013	0.022

Saranno ora discussi separatamente gli elementi i cui valori di concentrazione sono stati ottenuti mediante la tecnica analitica ICP-MS. I valori di concentrazione sono riportati in Tabella 5, mentre i Fattori di Arricchimento (FA) degli elementi qui considerati sono riportati nella Tabella 6.

3.7. Alluminio

La determinazione dell'elemento Al risulta indispensabile per poter valutare il FA; è stato scelto tale elemento in quanto conservativo, la sua concentrazione nei suoli può raggiungere il 10%, valore non facilmente modificabile dalle attività dell'uomo. Nei 22 campioni di muschio la concentrazione media è stata pari a 3700 mg kg⁻¹, con un intervallo compreso tra 1450 e 11.900 mg kg⁻¹. Escludendo la stazione di Montegallo, non si registrano rilevanti differenze tra le restanti località. Occorre segnalare che la sopra citata stazione presenta le più alte concentrazioni anche per gli elementi As, Cr e Ni. Un raffronto indicativo con i risultati ottenuti nella provincia di Reggio Emilia (Cenci *et al.*, 2000) conferma l'intervallo di concentrazione ottenuto. Altre esperienze effettuate nelle province di Trento (6 campioni) e Pistoia (6 campioni), hanno fornito rispettivamente valori pari a 1126 e 7852 mg kg⁻¹. Nella regione Marche il valore medio ottenuto dall'analisi di 10 campioni di muschio è stato 4200 mg kg⁻¹. Si può affermare che i valori di questa ricerca sono risultati sovrapponibili a quanto riscontrato in altre aree italiane.

3.8. Arsenico

L'arsenico è introdotto nell'atmosfera prevalentemente attraverso la combustione di combustibili fossili, industrie, agricoltura e altre fonti rivestono un ruolo minore. La tossicità e le proprietà cancerogene sono alquanto spiccate verso l'uomo.

La concentrazione più elevata è stata riscontrata a Montegallo (2.4 mg kg⁻¹), valori superiori all'unità sono stati osservati ad Amandola e Macchia delle Cerquete (Figura 4).

Il raffronto con la provincia di La Spezia, dove sussiste da un trentennio la presenza di un importante impianto per la produzione di energia elettrica utilizzando ingenti quantità di carbone, ha registrato una concentrazione media pari a 8.2 (Cenci *et al.*, 1999). In località poco antropizzate quali il Passo del Cerreto (Reggio Emilia) è stata riscontrata una concentrazione di 0.4 mg kg⁻¹. La situazione italiana evidenzia concentrazioni inferiori sia come valore medio (0.3) sia come massimo (1.9). Occorre segnalare che in quelle nazioni europee dove l'utilizzo di carbone è consistente i valori di concentrazione in arsenico sono elevati, un esempio è fornito dalla Romania (valore max. 17.6 mg kg⁻¹). Inghilterra, Francia e Spagna registrano le più alte concentrazioni in Europa, esse sono rispettivamente 8.1, 7.5 e 3.7 mg kg⁻¹. L'origine delle ricadute dell'elemento As nell'area indagata non dovrebbe essere imputata alle attività dell'uomo, fatta eccezione per la località Visso, in quanto il FA, per tutte le 21 stazioni, è compreso tra 1 e 2.

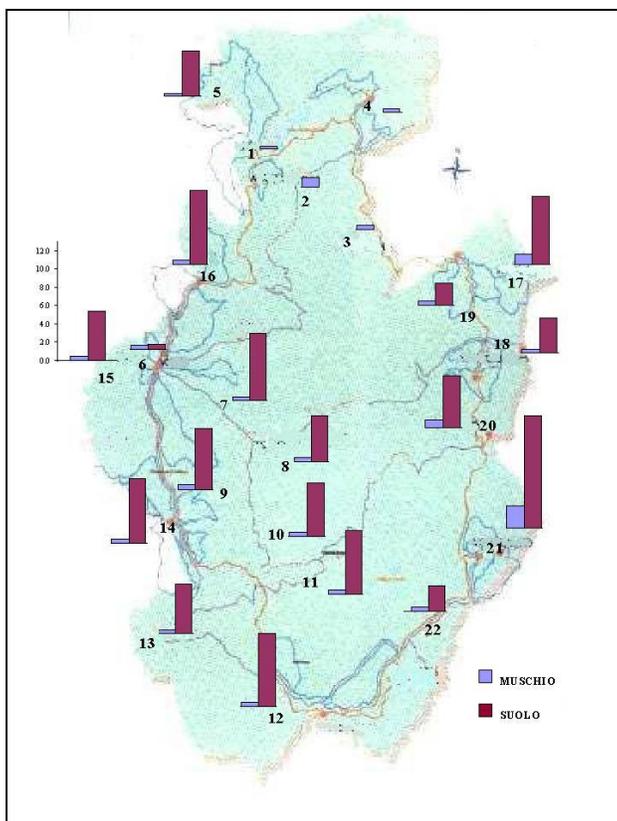


Figura 4. Distribuzione della concentrazione di As (mg kg⁻¹ massa secca) in muschi e suoli superficiali

3.9. Cadmio

I fertilizzanti comunemente utilizzati in agricoltura contengono cadmio; le emissioni prodotte da termovalorizzatori, centrali termoelettriche che utilizzano carbone o derivati del petrolio, immettono in atmosfera cadmio.

La tossicità per l'uomo può essere giudicata di medio livello.

Un valore pari al 27% delle stazioni, per quanto riguarda le ricadute di Cd, è attribuibile alle influenze dovute al suolo, per le restanti stazioni, l'origine deve essere ricercata nelle molteplici attività umane, anche se non direttamente presenti nell'area indagata o nelle immediate vicinanze.

Il valore medio di concentrazione è pari a 0.6 mg kg^{-1} , mentre i valori sono compresi tra 0.2 e 3.1 in località Valle dell'Ambro (Figura 5). La quasi totalità dei valori può essere inclusa nel CV% illustrando una deposizione che può essere definita costante. Nella provincia di La Spezia il valore medio è stato di 0.8, con valori fino a 24.9 mg kg^{-1} in località Arcola. Concentrazioni inferiori sono state ottenute in province quali Trento (0.4), Pistoia (0.4) e regione Marche (0.2 mg kg^{-1}) (Cenci *et al.*, 2000). La situazione media in Italia registra un valore pari a 0.3 mg kg^{-1} . Nazioni come Polonia, Slovenia, Romania, Portogallo presentano valori medi confrontabili a quelli ottenuti in questa ricerca; solamente l'Olanda presenta la concentrazione media più elevata con 3.7 mg kg^{-1} .

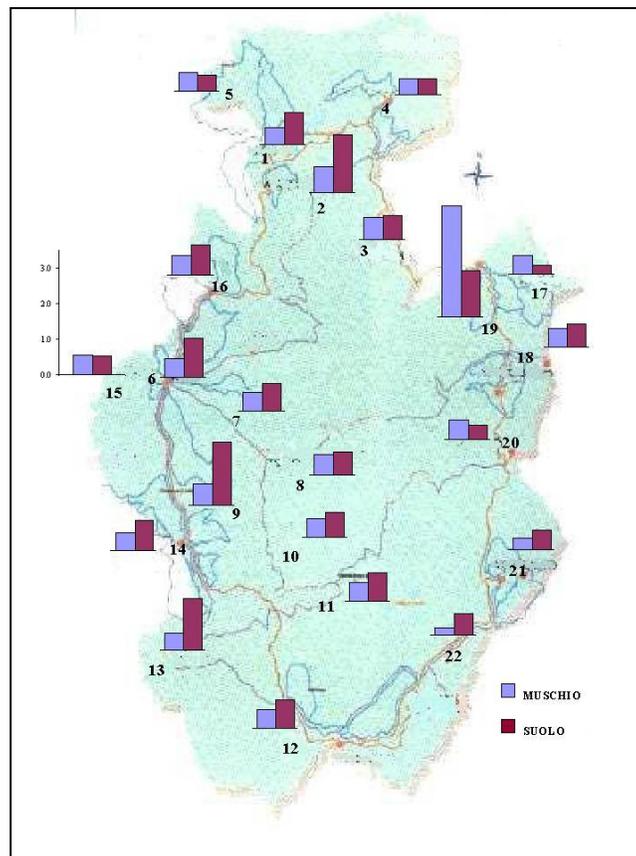


Figura 5. Distribuzione della concentrazione di Cd (mg kg^{-1} massa secca) in muschi e suoli superficiali

3.10. Cromo

Le potenziali fonti di immissione nell'ambiente di cromo sono numerose, industrie locali, galvanoplastiche, combustione di carbone, olio denso e prodotti derivanti da petrolio.

La pericolosità dell'elemento dipende soprattutto dalla sua forma chimica, il cromo (VI) è molto più tossico del cromo (III), inoltre induce carcinogenesi.

I valori, minimo, massimo e medio sono rispettivamente 2.3; 15.7 (località Montegalloy) e 4.3 mg kg^{-1} (Figura 6). L'origine è attribuibile al suolo con una deposizione uniforme su tutta l'area indagata, ad eccezione della stazione Montegalloy, infatti, applicando il CV alla concentrazione media, tutti i valori si trovano al suo interno. In provincia di Varese si è ottenuto un valore medio pari a 5, concentrazioni inferiori (2 mg kg^{-1}) sono state valutate nei sei campioni raccolti nella provincia di Trento, mentre nei campioni della provincia di Pistoia il valore medio è stato 6 mg kg^{-1} . È interessante notare che il valore massimo riscontrato in Italia è stato pari a 32.3, valore pari a sette volte la concentrazione media dell'area indagata. Concentrazioni comprese tra 10 e 20 mg kg^{-1} sono state osservate in muschi raccolti nell'appennino reggiano (Cenci *et al.*, 2000).

Valori medi superiori a 3 sono stati trovati in Francia, Ungheria, Olanda, Slovenia, Spagna, mentre in Romania la concentrazione media è stata di 9.1 mg kg^{-1} .

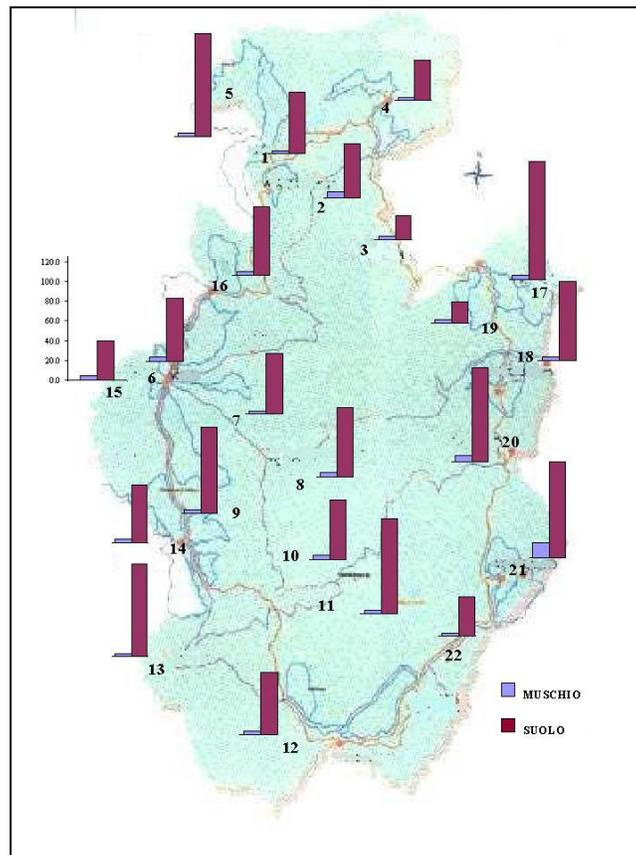


Figura 6. Distribuzione della concentrazione di Cr (mg kg^{-1} massa secca) in muschi e suoli superficiali

3.11. Rame

Numerose sono le fonti che immettono rame nell'ambiente, tra queste si possono citare sorgenti puntiformi quali le industrie per la lavorazione del metallo, utilizzo di combustibili fossili, miniere di minerali di rame. La tossicità del rame per l'uomo è relativamente bassa, mentre, ad alte concentrazioni è elevata per invertebrati e vegetali.

I valori minimo, medio e massimo riscontrati per l'elemento rame sono rispettivamente pari a 3.5; 6.3 e 11.5 mg kg⁻¹ (Figura 7). L'origine delle ricadute non dovrebbe essere imputata alle attività dell'uomo, siano esse dirette o indirette, essendo il FA compreso tra 1 e 5, significativamente inferiore a 10, valore che separa l'origine crostale dalle attività dell'uomo e/o naturali. Per una buona parte delle stazioni le ricadute sono da considerarsi uniformi, il valore del CV% applicato alla concentrazione media include 14 delle 22 stazioni. Nei 49 campioni di muschio raccolti nella provincia di La Spezia, la concentrazione media è stata pari a 25, mentre in località Arcola il valore massimo era di 136 mg kg⁻¹ (Cenci *et al.*, 1998). In provincia di Pistoia il valore medio era 64, mentre nelle provincie di Varese, Trento, nelle località di Ispra (Leva, 1999), Castelnovo Monti, Seveso, Carpineti e nella regione Marche il valore medio è stato nell'intorno di 10-12 mg kg⁻¹. Il valore medio riscontrato in Italia è superiore del 29% a quello ottenuto in questa ricerca, in accordo con quanto detto per le aree sopra elencate; in Europa numerose nazioni presentano concentrazioni simili.

Valori superiori si osservano in Bulgaria (16.4), Germania (9.4), Olanda (23.9), Romania (11.3), Russia (15.2) e Slovacchia (17.1 mg kg⁻¹).

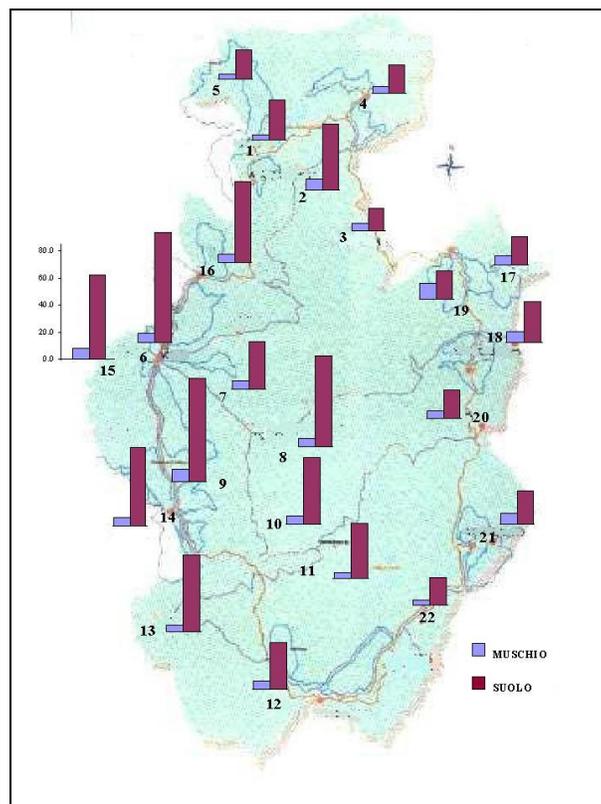


Figura 7. Distribuzione della concentrazione di Cu (mg kg⁻¹ massa secca) in muschi e suoli superficiali

3.12. Nichel

L'utilizzo del nichel è alquanto diffuso nelle leghe di acciai e per coperture di altri metalli. Numerose le fonti che immettono l'elemento nell'ambiente, esse sono da ricercarsi in quelle attività che utilizzano combustibili (oli e carbone) e nelle industrie per la produzione e la lavorazione degli acciai.

La tossicità verso l'uomo è moderata, mentre è molto cancerogeno.

Osservando i risultati nel loro insieme, si nota una uniformità delle ricadute al suolo su tutta l'area di indagine, ciò è dovuto anche all'origine crostale essendo il FA compreso tra zero e due. Per quanto riguarda i valori, la stazione denominata Montegallo presenta la concentrazione massima pari a 10.7 mg kg^{-1} , nelle restanti aree i valori sono compresi tra 2.3 e 7.3 con una media di 4.3 mg kg^{-1} (Figura 8). Valori simili di concentrazione si riscontrano in località Ispra (4.9), provincia di Trento (2.1), Carpineti (2.7), Castelnovo Monti (5.9) e Passo del Cerreto (2.9 mg kg^{-1}). La provincia di Varese, presenta una concentrazione media quattro volte superiore a quella riscontrata in questa ricerca (Cenci *et al.*, 2000). In Italia il valore medio è significativamente inferiore essendo pari a 1.7, la situazione in Europa è molto simile a quella italiana. Concentrazioni medie si riscontrano in Bulgaria (3.04), Ungheria (3.76), Olanda (15), Portogallo (10.7) e Russia (15.4 mg kg^{-1}). Il valore massimo riscontrato in Europa è presente nella penisola di Kola (Russia) con un valore di 135 mg kg^{-1} .

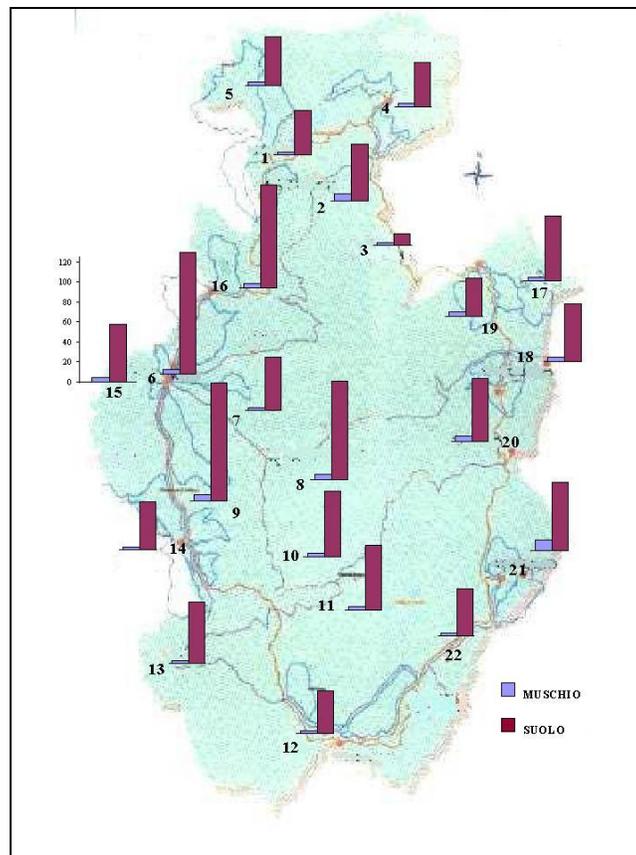


Figura 8. Distribuzione della concentrazione di Ni (mg kg^{-1} massa secca) in muschi e suoli superficiali

3.13. Piombo

Il piombo era immesso in grandi quantità nell'ambiente attraverso l'utilizzo delle benzine per autovetture, attualmente si osserva una riduzione assai spiccata nei paesi industrializzati. Occorre tenere presente il trasporto atmosferico a lunga distanza, esso gioca un ruolo di primaria importanza specialmente per i paesi Nord europei. La tossicità del piombo per l'uomo è moderata.

I valori del FA sono compresi tra zero e 7, escludendo una origine antropica per l'area interessata, inoltre la deposizione appare alquanto costante; considerando il CV% pari a 11.1%, solamente cinque stazioni ne risultano escluse.

I valori di concentrazione riscontrati sono compresi tra 1.4 e 9.6, la media è 6.2 mg kg⁻¹ (Figura 9). Si ritiene opportuno segnalare una concentrazione elevata riscontrata in località Arcola (La Spezia), il valore di 835 mg kg⁻¹ è stato osservato presso un'area industriale dove avveniva la lavorazione del piombo. La Spezia con 47 mg kg⁻¹, provincia di Varese (26 mg kg⁻¹), Ispra su sedici campioni (36 mg kg⁻¹), provincia di Pistoia (19 mg kg⁻¹), Bologna (20 mg kg⁻¹) (Cenci *et al*, 2000), presentano valori medi significativamente più elevati dei valori riscontrati in questa ricerca. La situazione in Italia è significativamente più compromessa, il valore medio è pari a 11.1 mg kg⁻¹ con una concentrazione massima di 94 mg kg⁻¹. In Europa poche sono le nazioni che registrano concentrazioni inferiori a quelle riscontrate in questo lavoro; la nazione che presenta il valore medio più elevato è la Romania con 25.8 seguita dalla Bulgaria con 18.9 mg kg⁻¹.

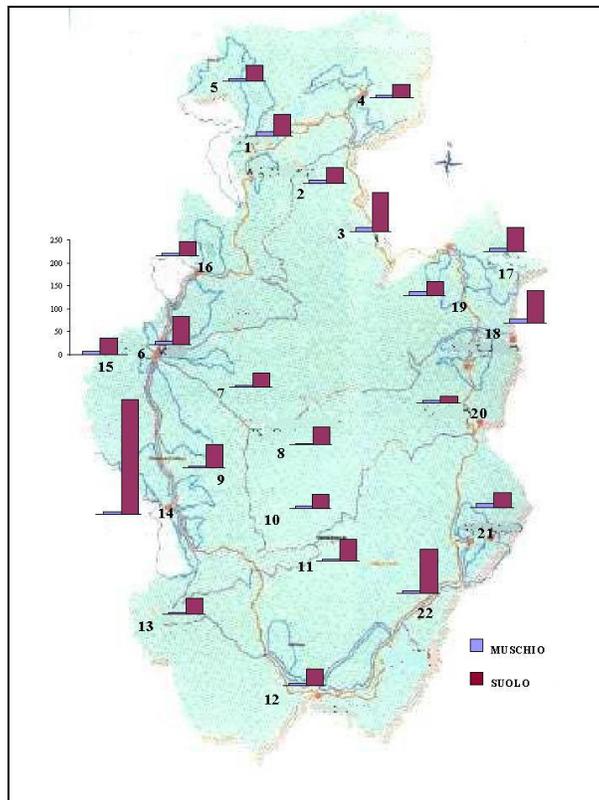


Figura 9. Distribuzione della concentrazione di Pb (mg kg⁻¹ massa secca) in muschi e suoli superficiali

3.14. Zinco

L'immissione di Zn nell'ambiente dipende principalmente alle industrie metallurgiche, occorre ricordare che l'uso dell'elemento in numerosi settori, quale edile ed elettrico, ha contribuito e contribuisce ad aumentare la concentrazione nei comparti ambientali. Solo ad elevate concentrazioni lo zinco può essere moderatamente tossico per l'uomo.

Lo zinco con gli elementi cadmio e mercurio ha una parziale origine antropica, sei stazioni su ventidue hanno un FA superiore a 10. Due stazioni e precisamente Monastero e Gole della Valnerina presentano rispettivamente i valori più elevati: 266 e 117 mg kg⁻¹ (Figura 10). Il valore medio è di 60. Valori superiori al valore medio sono stati riscontrati in provincia di Pistoia e Varese con rispettivamente 157 e 110 mg kg⁻¹; mentre valori pressoché identici erano riscontrati in provincia di La Spezia (72), di Trento (57), le località di Ispra (60) di Poiatica (60), Comano (45) e Fornasette (46 mg kg⁻¹). Per quanto riguarda il confronto con la situazione italiana ed europea, i valori riscontrati si sovrappongono. In Europa la concentrazione più elevata è stata riscontrata in Inghilterra con un valore pari a 850 mg kg⁻¹.

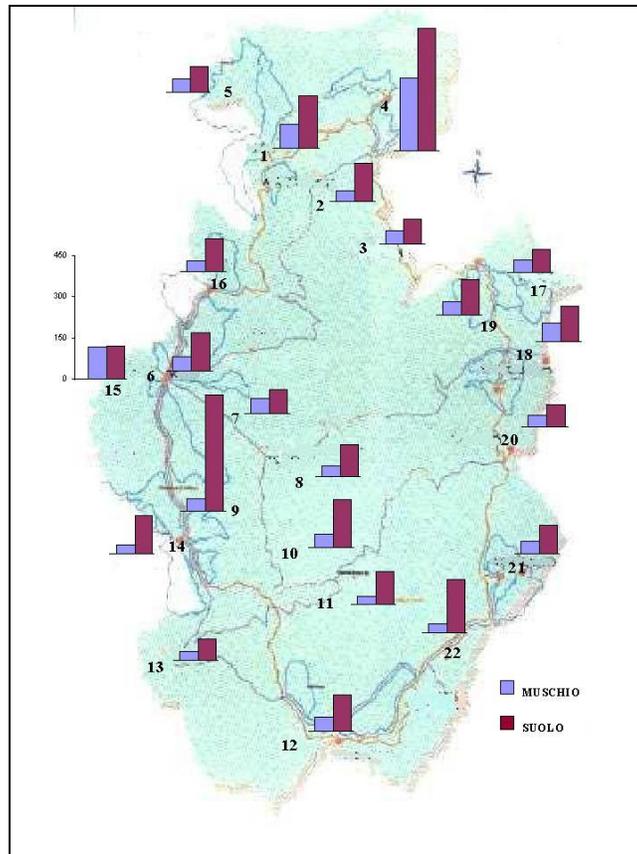


Figura 10. Distribuzione della concentrazione di Zn (mg kg⁻¹ massa secca) in muschi e suoli superficiali

Tabella 5. Distribuzione della concentrazione degli elementi nei muschi indigeni raccolti nell'area del Parco Naturale dei Monti Sibillini

	Al	As	Cd	Cr	Cu (mg kg ⁻¹)	Hg	Ni	Pb	Zn
Fiastra	1452	0.3	0.5	2.3	3.5	0.04	2.6	9.6	87
Macchia d. Cerquete	5690	1.0	0.7	6.3	7.8	0.07	7.3	7.2	40
Bolognola	2861	0.4	0.6	3.3	5.4	0.07	3.0	8.7	47
Monastero	1992	0.3	0.5	2.4	4.7	0.05	3.7	5.4	266
S. Marco	2156	0.3	0.5	3.2	3.7	0.06	3.9	5.1	50
Visso	2750	0.5	0.5	4.1	7.0	0.04	4.4	7.5	52
Frontignano	2042	0.3	0.5	2.7	6.5	0.06	2.6	4.0	56
M. Bove	4243	0.5	0.6	5.0	6.3	0.07	6.5	1.4	42
Rapegna	4291	0.6	0.6	4.0	9.0	0.06	5.8	4.4	45
Forca di Gualdo	3328	0.5	0.5	4.0	6.0	0.08	3.5	6.1	50
Castelluccio	3449	0.5	0.5	3.5	4.3	0.05	3.4	4.4	29
M. Cappelletta	3129	0.5	0.5	3.5	6.3	0.08	2.7	6.1	51
Norcia	2709	0.4	0.5	2.9	4.9	0.05	2.6	4.3	34
Campi	3518	0.5	0.5	3.3	6.4	0.05	3.1	6.1	34
Gole Valnerina	2537	0.4	0.6	4.3	7.9	0.09	4.3	7.2	117
Macereto	3678	0.4	0.5	3.7	6.1	0.06	4.7	5.3	37
Amandola	4459	1.1	0.5	4.8	6.7	0.05	4.0	7.5	45
Montefortino	3246	0.4	0.5	3.8	7.9	0.04	4.6	9.3	68
Valle dell'Ambro	3522	0.5	3.1	3.6	11.5	0.07	4.2	8.7	49
Montemonaco	5542	0.9	0.6	5.8	5.3	0.06	5.0	5.3	44
Montegallo	11922	2.4	0.3	15.7	8.2	0.06	10.7	8.7	45
Pretare	2952	0.4	0.2	3.0	3.9	0.05	2.3	5.1	32
valore medio	3703	0.6	0.6	4.3	6.3	0.06	4.3	6.2	60
minimo	1452	0.3	0.2	2.3	3.5	0.04	2.3	1.4	29
massimo	11922	2.4	3.1	15.7	11.5	0.09	10.7	9.6	266
Media Europa		0.3	0.4	2.0	7.5	0.08	3.1	9.0	37
Media Italia		0.3	0.3	2.7	8.9	0.07	1.7	11.1	42

3.15. Suoli

Lo scopo di questa ricerca era di valutare le ricadute al suolo di elementi in tracce in muschi discriminando la loro origine tra antropica-naturale e crostale, l'abbinamento con i suoli è risultato quindi indispensabile.

Si ritiene doverosa una discussione generale senza entrare in dettagli, i valori di concentrazione ottenuti sono raffrontati con le concentrazioni massime in suoli italiani non contaminati, valori medi italiani, europei, mondiali e concentrazioni ritenute eccessive (Tabella 7). Nella Tabella 8 sono riportati i valori medio, minimo e massimo ottenuti nelle 22 stazioni di campionamento.

Occorre precisare che le differenze geologiche possono incidere in modo significativo sulla concentrazione degli elementi in traccia, inoltre, possibili fonti puntiformi non sempre facilmente identificabili, sono in grado di innalzarne la concentrazione.

L'elemento As presenta nell'area di Montegallo il valore più elevato (12.4 mg kg⁻¹). In cinque stazioni, precisamente 2; 6; 9; 13 e 19, l'elemento Cd supera il valore di 1 mg kg⁻¹. L'elemento Pb nella località Campi presenta un valore di 250 mg kg⁻¹, tale concentrazione risulta cinque volte superiore al valore medio dell'area indagata; analogamente al Pb lo zinco nelle località Monastero e Rapegna registra una concentrazione superiore a 430 mg kg⁻¹, valore tre volte superiore alla media. Per gli elementi Cr e Ni, in ogni stazione, si osserva una buona sovrapposizione quantitativa della concentrazione. Nell'area sud-ovest del Parco dei Monti Sibillini sono state riscontrate le concentrazioni più elevate di rame. I valori di concentrazione di Al sono compresi tra 14800 e 95742 mg kg⁻¹, il valore massimo si riscontra in località Macereto.

Nel contesto generale i valori medi di concentrazione per tutti gli elementi sono risultati inferiori (fatta eccezione per lo Zn che supera di poche unità) ai valori massimi di suoli non contaminati.

I suoli stanno alla "base" della vita, l'impiego per scopi agricoli, sicuramente il più delicato, richiede concentrazioni ridotte in elementi in tracce, i valori qui riscontrati offrono le più ampie garanzie di sicurezza minimizzando le concentrazioni nei vegetali che verrebbero ad essere prodotti.

Tabella 6. Fattori di Arricchimento ottenuti con valori di concentrazione stimati in muschi e suoli

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Fiastra		19	1	4	17	2	7	17
Macchia d. Cerquete		5	1	2	12	1	2	3
Bologna		5	1	2	2	1	1	3
Monastero		19	1	4	65	2	3	11
S. Marco	1	29	1	4	27	2	4	13
Visso	19	11	1	2	21	1	3	9
Frontignano	1	19	1	5	43	1	4	18
M. Bove	2	20	2	2	22	1	1	8
Rapeгна	1	6	1	2	7	1	1	2
Forca di Gualdo	1	13	1	2	21	1	3	5
Castelluccio	2	16	1	3	12	1	2	6
M. Cappelletta	2	19	2	5	15	2	5	11
Norcia	1	5	0	1	9	1	2	6
Campi	1	11	1	2	6	1	0	4
Gole Valnerina	1	18	2	2	18	1	3	16
Macereto	1	17	1	3	36	1	4	8
Amandola	2	23	0	4	17	1	2	6
Montefortino	2	15	1	5	13	1	2	9
Valle dell'Ambro	1	18	1	4	13	1	2	3
Montemonaco	1	12	1	2	25	1	3	5
Montegallo	1	4	1	2	8	1	2	3
Pretare	1	3	1	2	4	0	0	2

Tabella 7. Concentrazioni massime di elementi in tracce in suoli italiani non contaminati, medie italiane, europee, mondiali e livelli eccessivi

	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Concentrazione massima in suoli italiani non contaminati	15	2	150	150	120	120	150
verde/agricolo	20	3	300	200	150	200	300
residenziale	30	5	500	300	300	300	500
industriale	50	15	800	1000	500	1000	1500
Media Italiana		0.5	100	51	46	21	89
Media Europea		0.8	53	20	27	39	68
Media Mondiale		0.3	200	20	40	10	50
Livelli eccessivi		5.0	100	100	100	200	250

Tabella 8. Distribuzione della concentrazione di elementi presenti nei suoli superficiali

	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	mg kg ⁻¹							
Fiastra	53048	*	0.9	62	29	45	48	190
Macchia d. Cerquete	60510	*	1.6	55	49	58	35	141
Bolognola	14800	*	0.7	24	17	11	84	91
Monastero	36652	*	0.4	40	21	45	29	448
S. Marco	51956	4.9	0.4	103	21	49	35	94
Visso	63692	0.6	1.1	64	80	122	62	141
Frontignano	57663	7.3	0.8	61	35	54	32	89
M. Bove	92994	5.1	0.6	71	67	100	38	119
Rapegna	76814	6.8	1.8	88	77	120	53	431
Forca di Gualdo	58687	5.8	0.7	60	49	66	31	175
Castelluccio	86964	6.9	0.8	96	41	65	47	122
M. Cappelletta	91089	8.0	0.8	63	35	43	37	134
Norcia	37530	5.3	1.5	93	56	62	35	78
Campi	62672	7.0	0.8	58	58	48	250	140
Gole Valnerina	41646	5.4	0.5	40	62	57	35	119
Macereto	95742	8.2	0.8	68	60	104	31	120
Amandola	50493	7.5	0.3	121	21	66	52	84
Montefortino	57520	3.8	0.6	79	30	59	70	132
Valle dell'Ambro	26855	2.5	1.3	22	21	39	30	131
Montemonaco	49595	5.7	0.4	95	21	63	14	83
Montegallo	82689	12.4	0.6	98	24	69	32	103
Pretare	27564	2.8	0.6	39	20	47	96	196
	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
valore medio	58053	5.0	0.8	68	41	63	54	153
minimo	14800	0.0	0.3	22	17	11	14	78
massimo	95742	12.4	1.8	121	80	122	250	448

* non analizzato

4. CONCLUSIONI

I risultati della ricerca condotta su muschi e suoli del Parco Nazionale dei Monti Sibillini, hanno confermato come i muschi possano essere impiegati con successo per valutare le ricadute al suolo di contaminanti persistenti quali i metalli pesanti.

I valori di concentrazione per la quasi totalità degli elementi indagati nei muschi, hanno evidenziato un ambiente poco antropizzato, quanto detto può essere confermato per i suoli, le ridotte concentrazioni degli elementi indagati permettono qualsiasi tipo di utilizzo.

L'applicazione del Coefficiente di Variazione ha contribuito a capire le diversità di deposizione dell'intera area, tali ricadute al suolo sono da considerarsi alquanto uniformi.

L'abbinamento suolo-muschio ha permesso di identificare l'origine delle ricadute, nel caso in esame per una buona parte di elementi è risultata essere di origine crostale.

I risultati ottenuti andrebbero approfonditi con ricerche che utilizzano i muschi trapiantati, inoltre rimane indispensabile valutare il tasso di accrescimento medio annuo, il comportamento dei muschi durante i periodi di pioggia (dilavamento degli elementi) e durante i periodi secchi.

5. BIBLIOGRAFIA

- Cenci R.M., (1999). *L'utilizzo dei muschi indigeni e trapiantati per valutare in micro e macro aree le ricadute al suolo di elementi in tracce: proposte metodologiche*. Da Biomonitoraggio della qualità sul territorio nazionale, ANPA: 241-263 pp.
- Cenci R.M. e Palmieri F., (1997). *L'impiego dei muschi terrestri e del suolo per valutare le deposizioni atmosferiche di origine antropica*. Inquinamento, XXXIX: 1, 36-45 pp.
- Cenci R. M., Palmieri F., Facchetti S., Mousty F. e Panzeri V., (1998) *Le deposizioni atmosferiche in una micro area, valutate utilizzando suoli e muschi*. Biologi Italiani, vol. XXVIII, n. 10, 20-36
- Cenci R. M., Dapiaggi M., Leva F., Plooy N. e Bergonzoni M., (1999). *Mosses used to monitor trace elements in micro and macro areas*. Environmental Impact, Aftercare and Remediation of Landfills. Sardinia 99. Volume 4°. 447-454.
- Cenci R. M., Leva F., Dapiaggi M., Geronimi A., Bergonzoni M., Bo F. e Vivian R., (2000). *Poiatica (RE) landfill: evaluation of heavy metal depositions in the last eight years using indigenous mosses*. Atti SIDISA 2000 International Symposium on Sanitary and Environmental Engineering. book 5 of 5. 193-198 pp.
- Leva F., (1999). *Le ricadute al suolo di elementi in traccia in micro e macro aree: utilizzo di Hypnum cupressiforme*, Tesi di Laurea. Università degli Studi di Milano. Scienze Biologiche.
- Pitea D., De Cesaris A.L. e Marchetti G., (1998). *Criteri per la valutazione della qualità dei suoli*. Fondazione Lombardia per l'Ambiente. 198 pp.
- Rulhing A. e Steinnes E., (1998). *Atmospheric heavy metal deposition in Europe 1995-1996*. Nord,15. 67 pp.
- Zechmeister H., (1998). *Annual growth of four pleurocarpous moss species and their applicability for biomonitoring heavy metals*. Environ. Monit. Assess. 52: 441-451 pp.