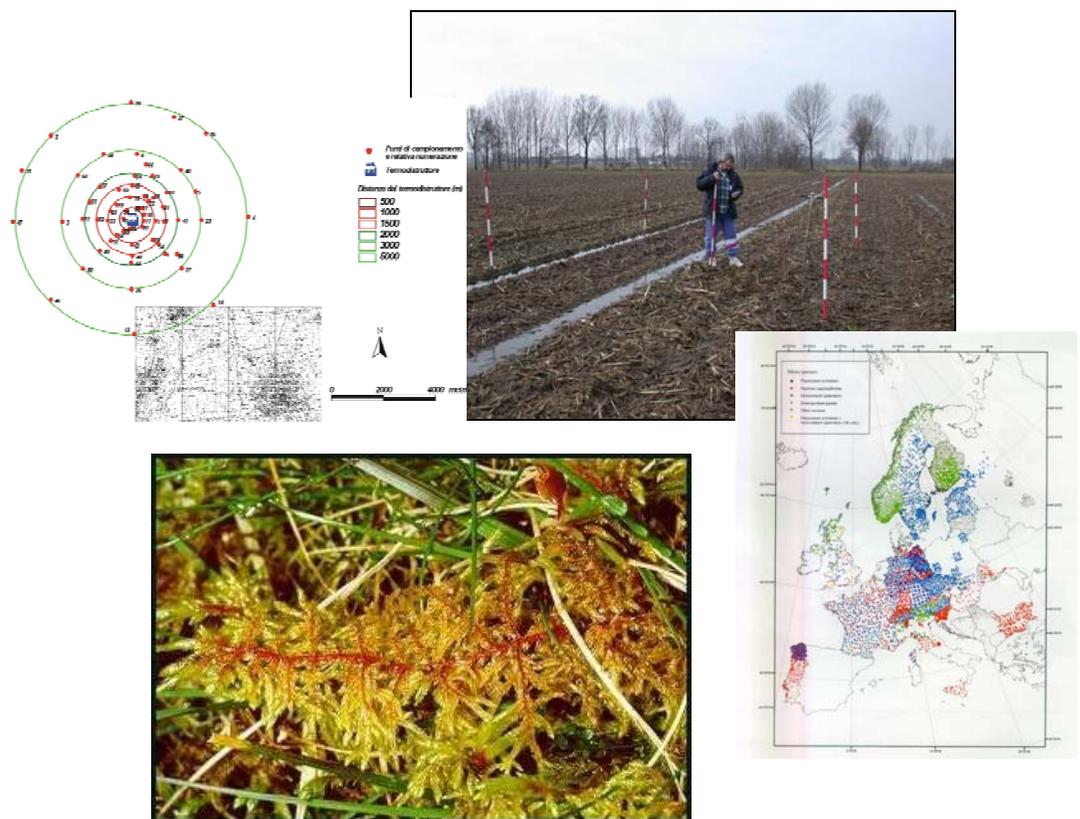




LINEE GUIDA PER L'UTILIZZO DI MUSCHI INDIGENI, MUSCHI TRAPIANTATI E SUOLI PER VALUTARE LE RICADUTE DI CONTAMINANTI ORGANICI E INORGANICI

Roberto Michele Cenci



EUR 23025 IT - 2007

The mission of the JRC is to provide customer-driven scientific and technical support for the conception, development, implementation and monitoring of EU policies. As a service of the European Commission, the JRC functions as a reference centre of science and technology for the Union. Close to the policy-making process, it serves the common interest of the Member States, while being independent of special interests, whether private or national.

European Commission
Joint Research Centre

Contact information

Address: R. M. Cenci - TP 280 - Land Management and Natural Hazards Unit
Via Enrico Fermi n. 2749
21027 ISPRA (VA), Italy

E-mail: roberto.cenci@jrc.it
Tel.: +39 0332 789771
Fax: +39 0332 786394

http://eusoils.jrc.it/ESDB_Archive/eusoils_docs/doc_Other.html
<http://www.jrc.ec.europa.eu>

Legal Notice

Neither the European Commission nor any person acting on behalf of the Commission is responsible for the use which might be made of this publication.

A great deal of additional information on the European Union is available on the Internet. It can be accessed through the Europa server
<http://europa.eu/>

JRC 41478

EUR 23025 IT ISBN LB-NA-23025-IT-C
ISSN 1018-5593

Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities

© European Communities, 2007

Reproduction is authorised provided the source is acknowledged

Printed in Italy

Ringraziamenti

Vorrei ringraziare la dr.ssa Loredana Musmeci dell'Istituto Superiore di Sanità di Roma, i professori Sergio Facchetti dell'Università di Milano, Oscar Ravera dell'CNR di Pallanza e Francesco Sguazzin per il supporto e l'aiuto che mi hanno fornito, ed in special modo il direttore f.f. dell'Istituto dell'Ambiente e della Sostenibilità della Commissione Europea dr. Guido Schmuck e il dr. Luca Montanarella per la loro estrema disponibilità e preziosa collaborazione.

Prefazione

Il Centro Comune di Ricerca di Ispra della Commissione Europea annovera tra i suoi compiti istituzionali il supporto scientifico e tecnico rivolto al cittadino comune per la concezione, lo sviluppo e la realizzazione di linee di condotta dell'Unione Europea. Inoltre funge da centro di riferimento di scienza e di tecnologia per la Commissione Europea.

Nelle sue linee di condotta riveste la mansione di salvaguardare gli interessi degli Stati Membri, restando indipendente da specifici interessi privati o nazionali.

Le Linee Guida qui presentate vanno nella direzione tracciata dal Centro Comune di Ricerca e in modo specifico dall'Istituto dell'Ambiente e della Sostenibilità, rispecchiano appieno la politica comunitaria e sono un tangibile esempio di eguaglianza e di democrazia.

Le Linee Guida rivestono una importanza strategica nel campo scientifico e sociale in quanto permetteranno di dialogare con un unico linguaggio scientifico, riducendo e minimizzando le possibilità di errore. Opereranno da supporto e da collante avvicinando le distanze tra molti ricercatori.

Le Linee Guida rappresentano un punto di partenza per tutti gli studi ambientali atti a valutare la qualità di Comparti quali l'Aria e il Suolo, sono un punto di riferimento per tracciare una linea comune che permetterà da un lato il raffronto di risultati a livello europeo dall'altro una collaborazione più ampia da parte di ricercatori.

I vantaggi che si otterranno investono anche la sfera politica in quanto rafforzeranno il concetto di Comunità Europea, la coesione tra i vari stati, il parlare una unica lingua scientifica.

Dal punto di vista operativo esse rappresentano una innovazione in quanto abbinano il suolo all'utilizzo di un bioindicatore quale il muschio. Tale abbinamento permette di ottenere informazioni circa la quantità e l'origine delle ricadute di contaminanti persistenti di origine organica e inorganica. Dai risultati che si otterranno si potrà programmare in modo più esaustivo e completo tutte le attività che investono il sociale, il ricreativo, il campo industriale e agricolo.

Sono certo che queste Linee Guida troveranno un ampio impiego a livello nazionale ed europeo.

Dr. Guido Schmuck

Direttore f.f. Istituto dell'Ambiente e della Sostenibilità, Commissione Europea

Prefazione

La collaborazione tra il Centro Comune di Ricerca della Commissione Europea (JRC/EC) e l'APAT sul tema degli indicatori biologici, iniziata dieci anni fa con il Workshop sul "Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale" dell'Agenzia (allora ancora ANPA), si concretizza ora con la pubblicazione di queste "Linee guida per l'utilizzo di muschi indigeni, muschi trapiantati e suoli per valutare le ricadute di contaminanti organici e inorganici".

Dopo la pubblicazione degli Atti del Workshop (ANPA 1999, Serie Atti 2/1999), abbiamo assistito allo sviluppo delle attività di monitoraggio che hanno permesso di affinare le metodologie d'analisi e di allargare i relativi contesti d'applicazione, producendo tuttavia dati disomogenei lungo tutto il territorio nazionale.

Questo volume riporta in maniera semplice ed efficace le procedure più opportune previste per il monitoraggio biologico con i muschi in abbinamento ai suoli, per regolamentare le attività di valutazione delle ricadute di inquinanti atmosferici sul territorio, per utilizzare metodiche comuni, diffuse e condivise e per confrontare, anche tra Paesi differenti, i dati raccolti.

Vuole essere un contributo per raccogliere dati ecologici omogenei, migliorare le informazioni ambientali e produrre rapporti a sostegno delle politiche di prevenzione, riduzione e rimedio dell'inquinamento.

Dr. Andrea Todisco

Direttore del Dipartimento Difesa della Natura, Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici

INDICE

Riassunto	7
1.1 Introduzione all'utilizzo dei muschi indigeni, muschi trapiantati e suoli per valutare le ricadute di contaminanti organici e inorganici	8
1.1 Introduzione	9
1.2 I suoli	9
1.3 Il biomonitoraggio	11
1.4 Le briofite	13
1.5 Morfologia delle briofite	14
1.6 Ecologia delle briofite	14
1.7 Utilizzo delle briofite come indicatori ambientali	15
2. Linee Guida per l'utilizzo dei muschi indigeni, muschi trapiantati e suoli per valutare le ricadute di contaminanti organici e inorganici	17
2.1 Utilizzo dei muschi come bioindicatori	18
2.2 Muschi indigeni e muschi trapiantati	18
2.3 Rete di monitoraggio	18
2.4 Muschio indigeno	22
2.5 Trapiantato di muschi	27
2.6 Coefficiente di Variazione	30
2.7 Rateo di Deposizione	30
2.8 Prelievo e trattamento dei campioni superficiali di suolo	31
2.9 Estrazione in acqua regia	32
2.10 Metodi analitici	32
2.11 Conclusioni	32
Bibliografia	33

LINEE GUIDA PER L'UTILIZZO DI MUSCHI INDIGENI, MUSCHI TRAPIANTATI E SUOLI PER VALUTARE LE RICADUTE DI CONTAMINANTI ORGANICI E INORGANICI

Riassunto

Le Linee Guida per i muschi rivestono una importanza strategica in quanto il loro utilizzo consente di uniformare le indicazioni che si ottengono in ambienti a differente estensione e pressione antropica, permettendo di raffrontare i risultati così ottenuti con altri metodi. Le caratteristiche morfologiche garantiscono il buon utilizzo dei muschi come bioaccumulatori per l'ottenimento delle informazioni relative alle ricadute di un numero significativo di contaminanti organici e inorganici di origine antropica e di valutarne la quantità che si deposita al suolo. L'abbinamento muschio-suolo è da ritenersi indispensabile per identificare e discriminare l'origine delle ricadute dei contaminanti dovuta alle attività dell'uomo da quella naturale.

Abstract

The Guide Lines for mosses present a strategic importance because their utilization permits to even the indications that obtain in different extension environments and human pressure, allowing to compare the results obtained with other methods. The morphological features guarantee the good utilization of mosses like bioindicators to obtain relevant information of fall out for a significant number of organic and inorganic contaminants of human origin and to appraise the quantity that is deposited to soil. Linking moss-soil is to retain indispensable to identify and discriminate the origin of contaminant fall out concerning man activities from soil origins.

Parole chiave: muschi, suoli, diossine, metalli pesanti, radioisotopi

Key words: mosses, soils, dioxins, heavy metals, radioisotopes

- 1. Introduzione all'utilizzo dei muschi indigeni, muschi trapiantati e suoli per valutare le ricadute di contaminanti organici e inorganici**

1.1 Introduzione

Nell'anno 1999 sono state pubblicate dall'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (A.N.P.A.) le metodiche per l'utilizzo dei muschi e dei suoli [1]. Dopo circa un decennio una revisione è da ritenersi opportuna, le Linee Guida allegate tengono in considerazione delle molteplici esperienze fatte in campo ambientale, inoltre riportano in modo succinto una breve descrizione relativa alla biologia delle briofite.

L'ambiente che ci circonda è interessato da una molteplicità di inquinanti. Infatti oltre ai tradizionali contaminanti atmosferici gassosi, quali CO, CO₂, SO₂, O₃, NO_x esiste un numero di altre sostanze, dovute principalmente alle attività dell'uomo, che si trovano in forma solida, liquida e gassosa. Tali sostanze sono in costante aumento, sia per numero che per quantità, e acquisiscono un'importanza sempre maggiore. Tra esse vale la pena citare i contaminanti inorganici persistenti, i radioisotopi, le diossine, i furani, gli idrocarburi policiclici aromatici (I.P.A.) e i poli-cloro-bifenili (PCBs) che, distribuiti nei vari comparti ambientali, possono provocare seri problemi ai vegetali, agli animali e all'uomo, in quanto il loro accumulo può avere conseguenze imprevedibili e difficilmente calcolabili [2]. Uno studio sull'immissione di metalli pesanti nei vari comparti ambientali mostra come le attività umane giochino un ruolo decisivo nel ciclo globale di questi elementi. Tra le principali fonti antropiche di immissione si ricordano le industrie chimiche, meccaniche, metallurgiche, le centrali energetiche, gli impianti di riscaldamento domestico e i motori a combustione interna [3].

Oltre ai livelli di inquinamento riscontrati nelle aree densamente popolate e industrializzate, è necessario considerare la dispersione dei contaminanti nell'atmosfera e il loro trasporto oltre i confini nazionali, con la possibilità di raggiungere aree remote, prive di una pressione antropica diretta quali ad esempio l'Antartide.

Allo scopo di valutare l'inquinamento dell'aria e delle ricadute al suolo, considerando l'estensione dell'area interessata alla contaminazione e la sua quantità, si è resa necessaria la ricerca di nuovi strumenti per il controllo che si affianchino e, in talune situazioni, siano in grado di sostituire i metodi tradizionali.

1.2 I suoli

L'analisi del suolo è da ritenersi indispensabile per valutare l'inquinamento di tipo organico e inorganico di un'area, inoltre se lo studio del suolo viene abbinato allo studio dei muschi si ottiene la

valutazione dei fattori di arricchimento che permettono una più adeguata e completa interpretazione dei risultati.

Il suolo è un comparto in continua evoluzione, poiché viene profondamente influenzato dalle condizioni del clima, dal tipo di rilievo, dalla vegetazione, dagli animali e dalle attività dell'uomo. Per "suolo" si intende quella coltre superficiale che, dopo un lungo periodo di anni, si è trasformata in strati differenziati detti orizzonti [4].

Un suolo è costituito da particelle minerali e organiche. Il materiale minerale deriva dall'alterazione delle rocce da parte degli agenti atmosferici, producendo frammenti di diverse dimensioni. La sostanza organica, invece, è costituita da organismi animali e vegetali e dai loro prodotti di trasformazione.

Dalla superficie del suolo fino alla roccia madre diminuisce sia la percentuale di sostanza organica che l'influenza dell'atmosfera, mentre aumenta l'influenza della roccia.

Un esempio di profilo dei suoli, nella concezione più generale, è rappresentato da quattro orizzonti. Gli orizzonti più superficiali, A e B, rappresentano il suolo in senso stretto: sono quelli più ricchi di sostanza organica nei quali si svolge la maggior parte dei processi biologici; l'orizzonte C è situato in profondità e corrisponde alla roccia madre alterata; l'orizzonte D è il substrato roccioso. Negli orizzonti A e B si possono differenziare dei sub-orizzonti determinati da agenti o fattori pedogenetici, che intervengono nello sviluppo di un suolo.

I principali fattori pedogenetici sono:

- Il clima.
- Il tipo di roccia madre.
- La durata della pedogenesi.
- Le attività biologiche.
- Il tipo di rilievo.

Il limite fondamentale dell'indagine attraverso i suoli è che i risultati sono condizionati dalla composizione geologica delle rocce e si rischierebbe di effettuare una errata interpretazione. Così, alte concentrazioni di un elemento potrebbero essere attribuite a contaminazione di origine antropica, mentre la vera causa andrebbe ricercata nella natura geochemica del territorio. La sola analisi dei suoli non è quindi un metodo sufficiente per determinare con sicurezza il grado di contaminazione di un'area.

1.3 Il biomonitoraggio

Informazioni dettagliate e complete sullo stato e sugli effetti dell'inquinamento atmosferico si possono ottenere solo attraverso analisi chimico-fisiche dell'aria affiancate da saggi biologici.

In anni recenti i ricercatori hanno preso in considerazione differenti metodiche per valutare la deposizione di metalli pesanti e di contaminanti organici per ottenere una corretta e adeguata informazione su larga e ridotta scala a costi contenuti.



Figura 1. [5] Aree di campionamento dei muschi in Europa negli anni 1990-1992

Le figure 1 e 2 mostrano il biomonitoraggio ambientale sul continente europeo effettuato mediante i muschi sui quali sono stati ricercati 10 contaminanti inorganici [5], [6].

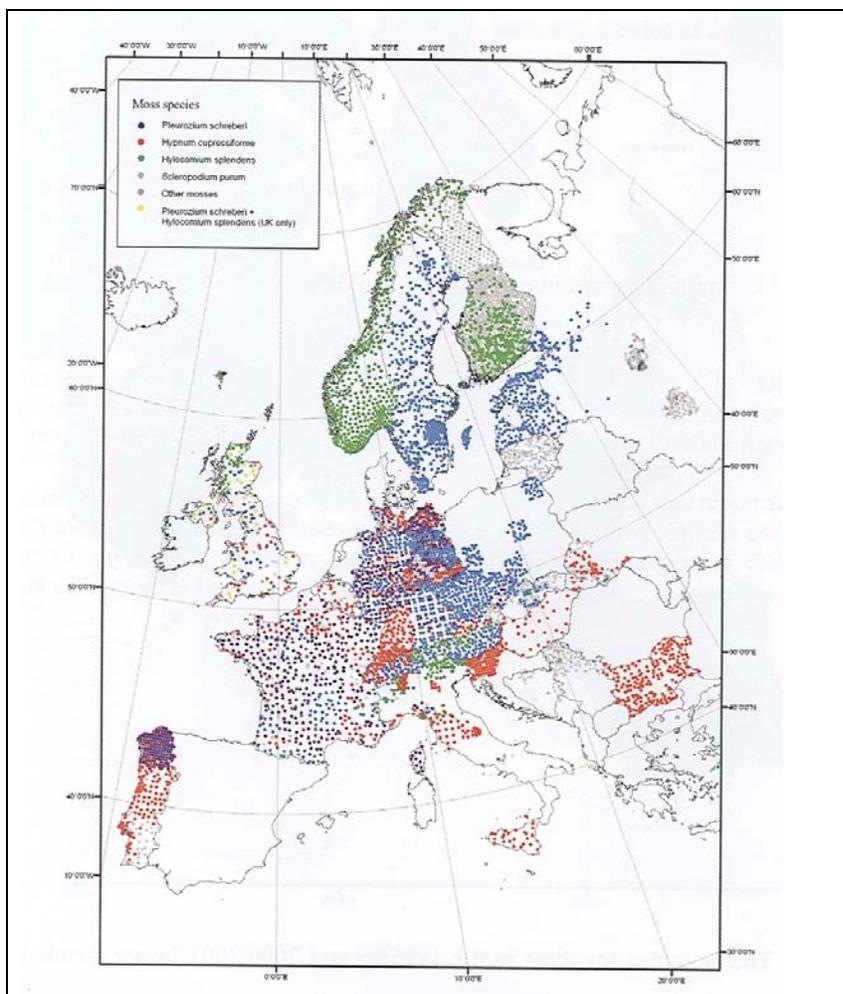


Figura 2. [6] Aree di campionamento dei muschi in Europa negli anni 2000-2001

Il concetto di "biomonitoraggio", ossia il monitoraggio dell'inquinamento effettuato mediante organismi viventi, si basa sul principio che una sostanza tossica può essere rilevata dagli organismi viventi, i quali sono in grado di indicarne la presenza e, in prima approssimazione, la quantità presente nell'ambiente. In generale, ogni organismo vivente dà una risposta alle differenti pressioni ambientali, sia naturali che antropiche, e poiché l'inquinamento atmosferico determina delle variazioni nell'ambiente interessato, queste si riflettono sugli organismi viventi [7]. Gli organismi pertanto possono essere impiegati nel monitoraggio dell'inquinamento atmosferico sia come bioindicatori che come bioaccumulatori. Nel primo caso la loro sensibilità ai contaminanti atmosferici permette una stima della qualità dell'aria della zona indagata (metodo indiretto). E nelle specie più sensibili agli inquinanti i sintomi principali presi in considerazione sono:

- Modificazioni morfologiche, fisiologiche e biochimiche.
- Danni genetici.

Un buon bioindicatore dovrebbe pertanto possedere le seguenti caratteristiche:

- Sensibilità nota a determinate sostanze inquinanti.
- Ampia distribuzione nell'area indagata.
- Sedentarietà.
- Lungo ciclo vitale.
- Uniformità genetica nella zona sottoposta ad indagine.

Nel caso del bioaccumulo si sfrutta il principio opposto a quello della bioindicazione, vengono cioè ricercate le specie maggiormente resistenti all'inquinamento atmosferico, in grado di accumulare per lungo tempo notevoli quantità di contaminanti, quali i metalli pesanti, i composti organici, i radioisotopi (metodo diretto). Un organismo quindi è adatto ad essere utilizzato come bioaccumulatore se presenta certe caratteristiche, e in particolare deve avere una **alta tolleranza** agli inquinanti indagati, essenziale per evidenziare le punte di inquinamento.

In particolare è richiesta la **capacità di accumulare** le sostanze esaminate possibilmente in correlazione lineare tra la concentrazione dei contaminanti nell'ambiente e quella nell'organismo.

Ampia distribuzione nell'area indagata e **nessuna o ridotta capacità di assorbire** sostanze dal substrato.

Le due strategie si possono considerare complementari, e permettono di ottenere informazioni sull'inquinamento garantendo un efficace biomonitoraggio integrato.

Tra gli organismi più usati come bioaccumulatori vi sono le briofite, di cui fanno parte i muschi.

1.4 Le briofite

Le briofite sono organismi eucarioti, autotrofi, a vita prevalentemente terrestre, tassonomicamente suddivise in *Anthocerotae*, *Musci* ed *Hepaticae*.

Presentano la caratteristica di formare un embrione (tanto primitivo che da alcuni non è riconosciuto come tale) e di possedere alternanza di generazioni antitetiche ed eteromorfiche, con prevalenza del gametofito (generazione aploide) sullo sporofito (generazione diploide), mai autonomo poiché dipende dal gametofito per il nutrimento.

Le briofite sono le più semplici piante fotosintetizzanti capaci di vivere stabilmente sulla terraferma.

La loro emersione dall'acqua, nonostante il pericolo dell'eccessiva perdita di acqua attraverso la superficie della pianta, ad opera del processo di traspirazione, offre due vantaggi:

- Avere un rapido ricambio di CO₂ dall'ambiente.
- Assorbire la luce direttamente dall'atmosfera.

La diffusione nell'ambiente terrestre ha comportato alcune modifiche nel loro processo di riproduzione. Riguardo la riproduzione sessuale, le briofite rimangono simili alle alghe, in quanto producono gameti maschili mobili per la presenza di flagelli; mentre per la fecondazione è necessaria la presenza di acqua o rugiada affinché i gameti maschili possano raggiungere quelli femminili. Lo spostamento dei gameti, in quanto dipendente dall'acqua, può avvenire sulla terraferma solo a distanze limitate. Riguardo invece la riproduzione per sporogonia, le briofite presentano caratteri da piante terrestri in quanto producono meiospore che vengono trasportate dal vento, prive di flagelli e delimitate da pareti rigide che le proteggono dalla perdita d'acqua.

1.5 Morfologia delle briofite

Risulta qui utile un breve cenno del gametofito e dello sporofito per descrivere la riproduzione dei muschi.

1.5.1 *Il gametofito*

Quando la meiospora germina dà origine a un sottile filamento detto protonema, su cui spuntano delle gemme che danno origine al gametofito; giunto a maturità sessuale, questo differenzia i gameti.

Generalmente nei muschi il gametofito è costituito da una porzione allungata, detta fusticino, da cui si dipartono delle appendici laterali appiattite, le foglioline, e da una parte basale costituita da cellule ialine, prive di cloroplasti, i rizoidi, con funzione di ancoraggio al substrato.

Il fusticino può raggiungere lunghezze di alcuni decimetri e può essere semplice o ramificato. Di frequente numerosi gametofiti, riuniti in gran numero, formano un "cuscinetto" che ricopre estese superfici di terreno.

1.5.2 *Lo sporofito*

Lo sporofito è completamente differente. Innanzitutto vive attaccato al gametofito, dal quale riceve le sostanze nutritive.

In generale è costituito da un piede, che affonda nella parte superiore del fusticino e si prolunga nella seta, che è una porzione filamentosa priva di appendici laterali e termina alla sommità con una capsula, nella quale sono contenute le meiospore. A maturità raggiunta, la capsula si apre liberando le spore, che vengono disperse dal vento.

1.6 Ecologia delle briofite

Le briofite sono organismi fotosintetizzanti che vivono in ambiente sub-aereo e, solo in pochi casi, in acqua dolce (esempio Fontinalis).

Sono ampiamente distribuite in una grande varietà di habitat, in parte sul terreno, sui sassi e sulle rocce, sulle foglie, sui tronchi e sui rami degli alberi.

I muschi sono molto importanti dal punto di vista ecologico, in quanto possiedono delle esigenze limitate, cosicché possono insediarsi in ambienti da colonizzare, dove la maggior parte degli organismi non è in grado di sopravvivere.

La presenza di muschi sul terreno costituisce un fattore di primaria importanza nell'assorbimento dell'acqua piovana, con il duplice risultato di ridurre o eliminare il pericolo del ruscellamento, e di cedere progressivamente al terreno l'acqua trattenuta [8].

I muschi non posseggono né tessuti di conduzione legnosi né tessuti di sostegno lignificati, di conseguenza l'assorbimento dell'acqua avviene attraverso tutta la loro superficie.

Le briofite in stato di disidratazione non muoiono, ma entrano in quiescenza e, se nuovamente bagnate, ritornano a svolgere le loro funzioni vitali.

1.7 Utilizzo delle briofite come indicatori ambientali

Alla fine degli anni '60, scienziati svedesi utilizzarono i muschi per valutare l'inquinamento da metalli pesanti in Scandinavia [9]. Da allora, l'uso di tali organismi per il monitoraggio ambientale si è sistematicamente esteso prendendo in considerazione differenti tipologie di contaminanti organici e inorganici. Pure le aree sottoposte ad indagine mediante i muschi variano da superfici ridotte, meno di un chilometro quadrato, a interi continenti. Una elencazione delle indagini effettuate occuperebbe troppo spazio e si rischierebbe di non citare alcuni autori.

La maggioranza dei muschi riceve i nutrimenti necessari dall'atmosfera, non avendo sviluppato un vero e proprio apparato radicale o un tessuto di conduzione dell'acqua. I contaminanti sono perciò assunti attraverso la superficie delle foglioline; ciò significa che la concentrazione di tali sostanze nei muschi può essere strettamente correlata alla deposizione atmosferica, in quanto i processi di assorbimento dal substrato possono essere esclusi.

Le principali caratteristiche che rendono le briofite adatte al loro utilizzo come indicatori delle ricadute al suolo dei contaminanti atmosferici, possono essere così riassunte:

- Sono generalmente prive di una cuticola protettiva e di una parete cellulare spessa; ciò rende i loro tessuti facilmente permeabili all'acqua e ai minerali, inclusi gli ioni metallici.
- I tessuti (costituenti la parete cellulare) hanno numerosi siti attivi (gruppi carichi negativamente) che agiscono da efficienti scambiatori cationici [10].
- Il rifornimento minerale è ottenuto principalmente dalle deposizioni di

particelle e di sali solubili presenti nell'aria, il substrato riveste quindi poca o nessuna importanza nell'apporto di minerali. Esistono però delle eccezioni. In alcuni muschi sembra esservi infatti un assorbimento di metalli e di altri contaminanti dal suolo, principalmente attraverso la risalita capillare di acqua; specie quindi poco adatte per il biomonitoraggio.

- La formazione di nuova biomassa, per altro scarsa, avviene sulla sommità di quella vecchia, precludendo qualsiasi contatto o interazione con il suolo o il substrato.
- In certe specie di muschi come *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp. nel genere *Sphagnum*, è possibile riconoscere e separare gli incrementi annuali di crescita, facilitando la determinazione dell'età e il tempo di esposizione del materiale usato.
- Fatta eccezione per alcune specie, non sembra esservi alcuna traslocazione di contaminanti tra segmenti adiacenti o dalla vecchia biomassa a quella in via di sviluppo.
- Molte specie sono largamente diffuse (cosmopolite o circumpolari) in determinati habitat.
- Grazie alla loro longevità, e a seconda della specie e del metodo di campionamento, le briofite possono essere utilizzate per valutare le deposizioni avvenute nel corso di più anni.

I principali limiti delle briofite come bioindicatori sono:

- In particolari situazioni ambientali (ad esempio deposizioni acide o piogge prolungate) potrebbe verificarsi un adsorbimento incompleto di contaminanti o una parziale perdita per dilavamento.
- La scelta dei punti di campionamento può essere determinante e forse più critica che per altre metodologie.

Va ricordato infine che in numerosi studi, volti a valutare la deposizione di contaminanti atmosferici, sono state utilizzate briofite trapiantate.

Interessante è poi il caso di alcuni ricercatori che introdussero, in un'area industriale del Galles, dei ceppi recanti muschio della specie *Hypnum cupressiforme* Hedw. Il trapianto morì dopo alcune settimane, ma i muschi continuarono ad accumulare metalli [11].

Quindi per i muschi trapiantati il problema principale sembra essere il loro utilizzo in habitat nei quali non possono sopravvivere per le condizioni climatiche avverse o per una non corretta gestione dei muschi dal trapianto alla messa a dimora. Infatti parecchie specie, comunemente usate, sono sensibili all'essiccazione e spesso interrompono la crescita o muoiono in un habitat inospitale.

2. Linee Guida per l'utilizzo dei muschi indigeni, muschi trapiantati e suoli per valutare le ricadute di contaminanti organici e inorganici

2.1 Utilizzo dei muschi come bioaccumulatori

Si passerà ora alla presentazione delle Linee Guida per l'utilizzo dei muschi come bioaccumulatori.

L'impiego dei muschi permette di valutare la concentrazione dei seguenti contaminanti:

- Metalli pesanti e metalloidi.
- Macro-elementi.
- Radioisotopi.
- Diossine e furani.
- Poli-cloro-bifenili (PCBs).
- Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA).

2.2 Muschi indigeni e Muschi trapiantati

2.2.1 Generalità

Il principale limite nell'utilizzo dei muschi indigeni e trapiantati come bioaccumulatori di contaminanti inorganici e organici consiste nel fatto che si tratta di un sistema biologico, quindi maggiormente suscettibile a variazioni quali-quantitative. A tale limite si contrappone una serie significativa di vantaggi:

- Bassi costi di gestione se raffrontati a tecniche "tradizionali".
- Rapidità nell'ottenimento delle informazioni e dei risultati per un più pronto ed efficace intervento.
- Possibilità di impiego sia su vaste aree sia su aree ridotte.
- Possibilità di intervento nelle aree prive di muschi.
- Semplicità nelle procedure di dissoluzione dei campioni e di analisi.
- Possibilità di ricostruire la storia passata delle deposizioni di elementi in tracce.
- Ottenimento del tasso di deposizione (massa/superficie x tempo) utilizzando i valori di concentrazione dei contaminanti riscontrati nei muschi.

2.3 Rete di monitoraggio

Nel pianificare le strategie di un monitoraggio ambientale occorre porre attenzione alla scala territoriale per una corretta scelta della rete di monitoraggio e del numero di punti di raccolta o di posizionamento dei campioni di muschio. Si deve inoltre ottenere informazioni sulle differenti tipologie del territorio, del tipo di utilizzo e delle pressioni antropiche dell'area stessa. Informazioni relative alle differenti modalità di dispersione dei contaminanti sono da ritenersi indispensabili, poiché influenzano la densità e il numero dei campionamenti o i posizionamenti dei muschi stessi.

Se le esigenze di indagine lo permettono si potrà utilizzare una rete a maglia fissa con campionamenti omogeneamente distribuiti, in quanto tale metodo permette di ottenere informazioni oggettive e indipendenti da criteri predefiniti.

L'utilizzo di un campionamento di tipo sistematico con griglie predefinite, dovrebbe essere privilegiato, poiché consente il confronto e l'integrazione con altri studi. Si può così utilizzare la cartografia I.G.M., Tavole a scala 1:100.000, oppure i Fogli 1: 25.000 che presentano quadrati di 1 km di lato, mentre le coordinate delle stazioni di campionamento potrebbero venire posizionate sull'intersezione dei nodi dei reticoli. Le carte dell'Inventario Nazionale Forestale presentano invece reticoli con maglie di passo 3 km. Anche due griglie a valenza internazionale possono essere utilizzate: I.C.P. Forest (maglie da 16 x 16 km) e L.U.C.A.S. (maglie da 18 x 18 km) come riportato in figura 3. Per tutte le griglie sopra accennate si potranno, a seconda delle esigenze, utilizzare sottomultipli. La figura 4 illustra un esempio di impiego della rete L.U.C.A.S. dove le distanze tra le aree di campionamento sono state di 9 km.

L'utilizzo di griglie predefinite è consigliabile per indagini in presenza sul territorio di fonti puntiformi quali fonderie, termodistruttori, centrali elettriche, grandi impianti industriali, ecc. In questi casi si potrà utilizzare un campionamento o posizionamento di muschi su circonferenze concentriche all'impianto, diradando il numero delle stazioni con la distanza dall'impianto stesso. Circonferenze con raggio pari a 0.2; 0.5; 1; 3; 5; 8 e 10 km e con un numero di 4-6 raggi possono ben coprire e descrivere l'area da monitorare. La raccolta dei campioni di muschio o il loro posizionamento, in caso di mancanza di muschi, va fatto nei punti di intersezione tra la circonferenza e il raggio (figura 5).

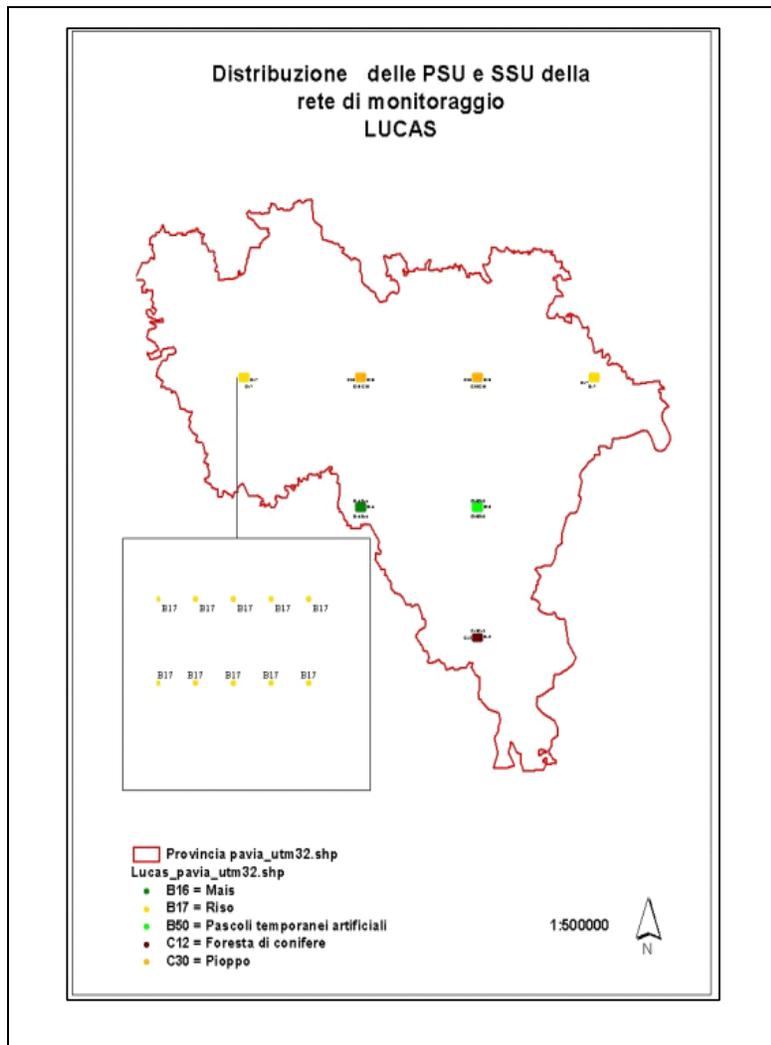


Figura 3. [12] Griglia L.U.C.A.S. (18 x 18 km) per la provincia di Pavia

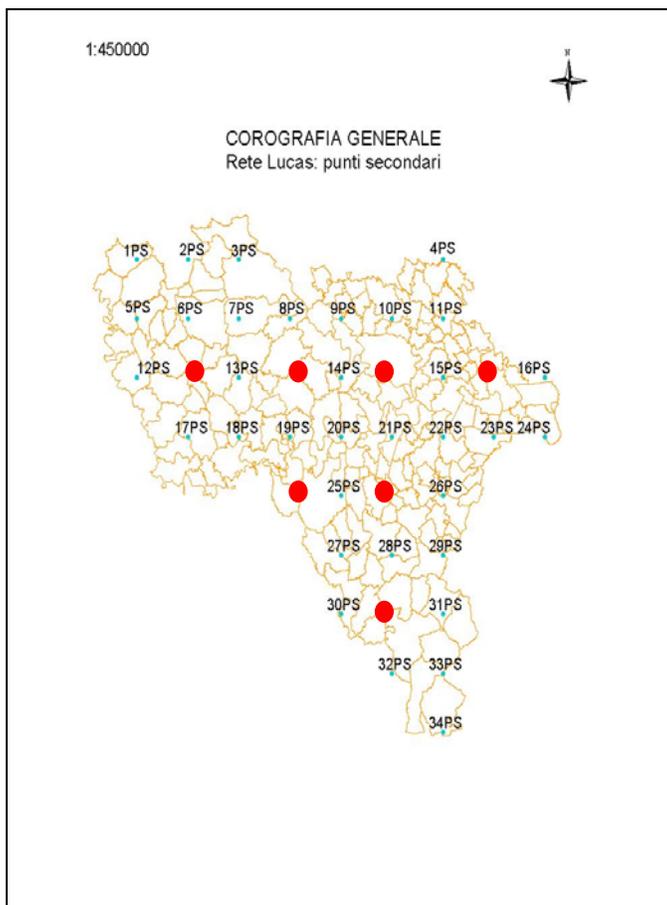


Figura 4. [12] Esempio di sottomultipli (9 x 9 km) per la provincia di Pavia partendo dalla griglia L.U.C.A.S., i pallini rossi indicano i punti L.U.C.A.S.

La griglia mista può essere utilizzata per ogni tipo di indagine. Questa si ottiene dalla sovrapposizione di una rete a maglia fissa con una rete ottenuta da modelli matematici che prendono in considerazione le potenziali aree di maggior ricaduta dei contaminanti da indagare. I punti ottenuti con il modello matematico, che identificheranno le aree dove la probabilità di ricaduta dei contaminanti è maggiore, andranno ad aggiungersi ai punti di campionamento della griglia fissa.

Per casi particolari si possono utilizzare transetti, lungo i quali le distanze di campionamento dei muschi o il loro posizionamento dipendono dal tipo di indagine e di informazione che si vogliono ottenere. In centri abitati sia paesi che città, se privi di muschio, si opterà per un posizionamento dei muschi che segua l'andamento delle strade o una griglia creata "su misura" a seconda delle esigenze e degli scopi che l'indagine si prefigge.

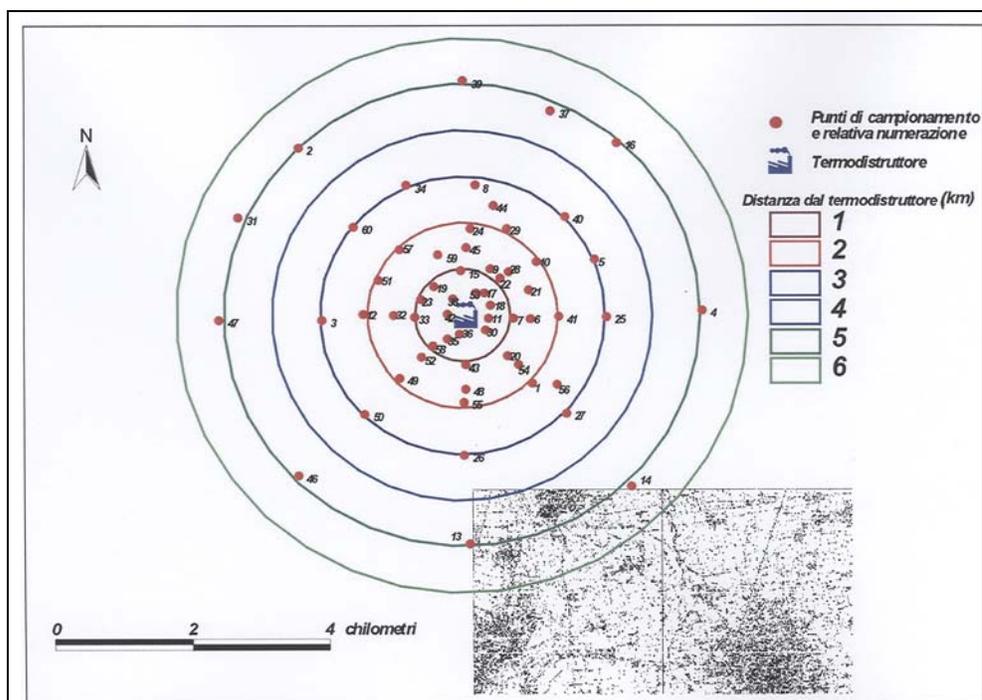


Figura 5. [13] Sovrapposizione di griglia predefinita con punti ricavati dal modello matematico per valutare le ricadute di un termovalorizzatore

2.4 Muschio indigeno

Il muschio indigeno rappresenta la "memoria passata" delle deposizioni di metalli pesanti avvenute nell'arco di tempo compreso tra il momento della raccolta sino a un periodo antecedente di 5-6 anni a seconda della specie di muschio utilizzata e della lunghezza del tallo prelevato. Permette quindi di ricostruire in parte le vicissitudini e la storia di grandi aree (migliaia di km²) o aree ridotte (pochi km² o loro frazioni).

La scheda per identificare l'area (figura 6) è fondamentale e deve riportare le seguenti informazioni:

- Sigla del punto di campionamento.
- Coordinate geografiche.
- Nome della località.
- Mappa scala 1/10.000 o inferiore.
- Foto dettagliata del punto di campionamento.
- Foto con veduta generale.
- Descrizione dell'utilizzo dell'area.
- Specie di muschio raccolto.
- Descrizione del tipo di substrato o suolo raccolto.

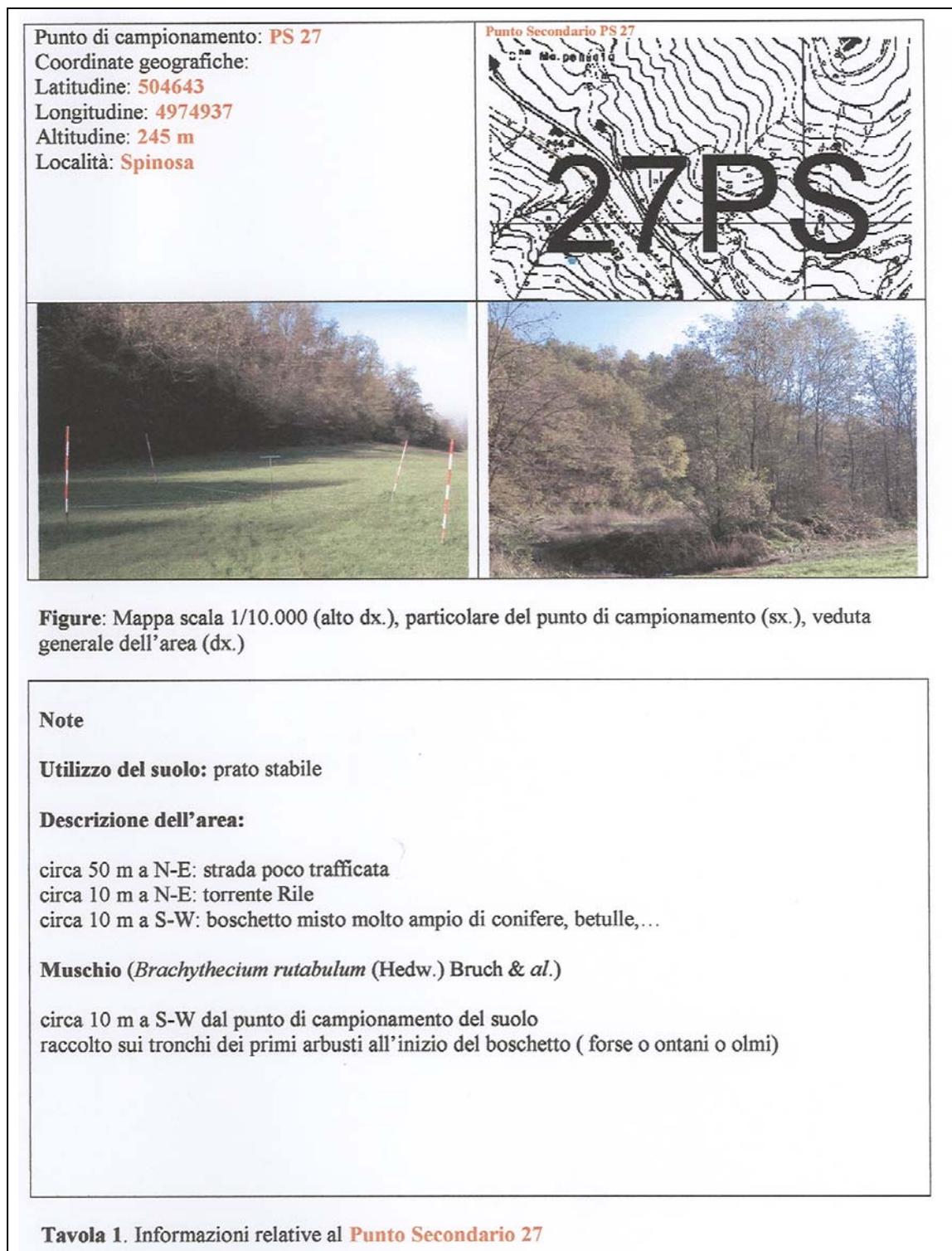


Figura 6. [14] Esempio di scheda descrittiva di aree di campionamento di muschi e suoli



Figura 7. [12] Area di campionamento di 20 x 20 metri per la raccolta di muschi e suoli

Le procedure da eseguire per il corretto utilizzo dei muschi come bioaccumulatori sono le seguenti:

- L'area di raccolta del muschio deve distare ad almeno 200 metri da abitazioni e strade ad elevata percorrenza. Questo accorgimento serve per indagini il cui scopo è di valutare le deposizioni a livello generale prive di interferenze locali dirette. Negli altri casi la distanza può non essere rispettata.

L'area di raccolta del muschio deve avere una superficie di 400 m², quadrato lato di 20 metri (figura 7) raccogliendo su tutta la superficie, in modo sistematico, la quantità di muschio sufficiente per le analisi.

- In ciascuna area di campionamento si deve raccogliere la specie di muschio più abbondante. Le specie da preferire sono: *Hypnum cupressiforme* Hedw. (figura 8), *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp. (figura 9) o *Scleropodium purum* (Hedw.) M. Fleisch. (figura 10) utilizzando guanti in lattice. La scelta di queste tre specie di muschio si basa su numerose osservazioni in particolare un'abbondante presenza sul territorio europeo, un largo utilizzo e un bioaccumulo più pronunciato.



Figura 8. Muschio della specie *Hypnum cupressiforme* Hedw. (Fotografia di F. Sguazzin)



Figura 9. Muschio della specie *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp. (Fotografia di F. Sguazzin)

- Durante la raccolta del muschio occorre effettuare una prima pulitura, eliminando foglie, terriccio, ramoscelli, aghi di conifere ed altro materiale.



Figura 10. Muschio della specie *Pseudoscleropodium purum* (Hedw.) M. Fleisch

- Il muschio raccolto va riposto in una busta preparata con carta da filtro, sulla busta vanno scritte tutte le informazioni necessarie al riconoscimento (numero stazione, località, data di prelievo, ecc.).
- In laboratorio appoggiare i muschi su di un banco con piano in PVC oppure in ceramica e procedere alla loro pulitura utilizzando guanti in lattice.
- Tagliare con una forbice o strappare con le mani il primo centimetro di muschio o differenti lunghezze apicali (a seconda di quanto si vuole ricostruire nel tempo) e raccogliere una massa fresca pari alla quantità necessaria per le indagini analitiche. Privilegiare i talli più verdi (figura 11).
- Depositare i muschi recisi in un cristallizzatore da laboratorio (contenitore di diametro 20 cm e altezza 10 cm) in vetro classe A, lavato con acqua bidistillata; in mancanza di un cristallizzatore utilizzare un bicchiere in vetro da laboratorio classe A, aggiungere acqua bidistillata sino a coprire la massa dei muschi e agitare con una bacchetta di vetro i muschi per 10-15 secondi. Togliere i muschi e depositarli in un altro cristallizzatore. Questa operazione serve per eliminare le particelle grossolane, solitamente di suolo. Coprire il cristallizzatore contenente i muschi lavati con un vetro di orologio.

- Porre il tutto in una stufa per almeno 48 ore alla temperatura di 40° centigradi. La temperatura di 40° C. minimizza le perdite per volatilizzazione di elementi quali Hg, Pb e altri elementi e composti.
- Alcuni grammi di muschio, dopo essiccamento a 40° C. per 48 ore, devono essere successivamente essiccati alla temperatura di 105° C., al fine di valutare la perdita in acqua.
- La massa di muschio essiccata a 40° C. deve essere macinata in un mulino con corpo e sfere in agata, in mancanza di mulino si può utilizzare un mortaio in agata. La granulometria del macinato deve essere inferiore a 125 µm. Tale misura di granulometria assicura un buon livello di omogeneità del campione per pesate pari a 100 mg.
- Riporre il muschio macinato in un recipiente in polietilene con doppio tappo, precedentemente lavato, introducendo nel recipiente una sfera in teflon o vetro del diametro di 10 mm, per omogeneizzare il campione macinato prima di ogni pesata.

I campioni di muschio sono così pronti per essere sottoposti a trattamenti e analisi specifiche.



Figura 11. Operazione di pulitura e taglio dei caulidi di muschio

2.5 Trapianto di muschi

Il muschio trapiantato può essere inteso come indicatore della situazione presente o "memoria presente", in quanto fornisce indicazioni che

riguardano le deposizioni avvenute dal trapianto sino al periodo di raccolta, preferibilmente il tempo di esposizione deve essere inferiore ai 2 anni. Si utilizza ovviamente il trapianto di muschi in tutte le aree che ne sono prive.

E' fondamentale trovare un'area non soggetta a ricadute dirette, ove la concentrazione in elementi inorganici e composti organici sia ridotta per meglio valutare nel tempo gli incrementi delle deposizioni. Tale area deve essere intensamente coperta di muschio e servirà per raccogliere i muschi da trapiantare. Identificata l'area, occorre procedere nel modo seguente:

- Mediante una vanga ben affilata, tagliare il muschio e il suolo/substrato sottostante per 10-15 cm di profondità per un'area di circa 35 x 45 centimetri.
- Sollevare muschio e suolo assieme e depositare il tutto in una cassetta di plastica (le cassette forate della frutta sono adatte al caso). Procedere nello stesso modo per la preparazione di tutte le cassette necessarie per l'indagine (figura 12).
- Nell'area scelta per il posizionamento del muschio in cassetta, occorre preparare una buca delle stesse dimensioni della cassetta.



Figura 12. Cassette di muschio pronte per il trapiantato

- Depositare la cassetta nella buca dove il tappeto di muschio dovrà risultare, una volta posizionato, allo stesso livello del terreno circostante.
- La zona di trapianto deve trovarsi nelle vicinanze di una zona d'ombra. In mancanza di ombra si potrà costruire un riparo verticale al

piano dei muschi con materiale privo di metalli (ad esempio con canne di bambù o teli verdi a maglie in materiale plastico), al fine di ottenere una zona d'ombra il più possibile completa sul muschio (figura 13). Con tale operazione si deve non ostacolare la circolazione laterale dell'aria.

- Dopo aver depositato la cassetta, procedere al campionamento dei muschi per definire il livello iniziale della concentrazione degli elementi e/o composti che si vorranno indagare. Utilizzare guanti in lattice e raccogliere su tutta la superficie la quantità in peso necessaria per le determinazioni analitiche. I muschi dovranno essere posti in una busta, portati in laboratorio e trattati come descritto in precedenza.



Figura 13. Creazione artificiale di una zona d'ombra

- Il muschio trapiantato e il suolo sottostante vanno bagnati con acqua bidistillata. La cadenza e la quantità di acqua dipendono dalla stagione. Ricordarsi che il suolo sotto il tappeto di muschio deve rimanere sempre umido.
- Le raccolte successive possono essere effettuate con cadenza di 2, 3, 4, 6, 12, 18 o 24 mesi a seconda dell'ambiente da indagare e delle

esigenze di lavoro.

- È opportuno raccogliere, una sola volta, nelle vicinanze di ciascuna stazione di muschi, un campione composito di suolo che verrà analizzato, al fine di una più completa interpretazione dei risultati.

2.6 Coefficiente di Variazione

Il Coefficiente di Variazione (CV%) intra-area, che include gli errori compiuti dal campionamento all'analisi, deve venire stimato utilizzando una delle stazioni indagate, oppure, in via approssimativa, si potranno utilizzare i risultati della tabella 1 [15]. Esso permette di 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 per i muschi indigeni sia per i muschi trapiantati.

Occorre procedere al campionamento nel modo seguente:

- Cercare un'area ricca di muschio che formi un cuscinetto compatto e delimitare con un filo di nylon un quadrato di lato pari a 1 metro. Suddividerlo in 9 sotto-quadrati di 33 cm di lato.
- In ciascuno dei 9 sotto-quadrati raccogliere i tessuti apicali di una medesima lunghezza (es. 2 cm). (Per la raccolta e i trattamenti seguire quanto descritto in precedenza).
- Dalle soluzioni ottenute, dopo mineralizzazione acida, occorre ripetere 5 volte l'analisi di ogni elemento per ricavare, oltre al valore medio, il coefficiente di variazione in percento.

Tabella 1. [15] Coefficienti di Variazione (%) di alcuni elementi ottenuti in un reticolo della provincia di La Spezia

Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Ti	V	Zn
20	12	32	12	18	22	7	23	11	21	17	20

2.7 Rateo di Deposizione

Il Rateo di Deposizione (R.D.) si ottiene partendo dai valori di concentrazione riscontrati nei muschi, espresso per unità di massa (mg) dell'elemento indagato, nell'unità di superficie (m²) e nell'unità di tempo (un anno). Si ottiene utilizzando la concentrazione dei muschi con la formula seguente:

$$R.D. = \frac{C_{EL}}{(F.E.) \times (T_a) \times (F_R)} \quad [5]$$

Dove:

C_{EL} (Concentrazione dell'elemento nel muschio $mg\ kg^{-1}$)

F.E. (Fattore di efficienza per l'elemento)

T_a (Periodo coperto dai caudali espresso in anni)

F_R (Fattore di Rühling) [\log_{10} (concentrazione dell'elemento nel muschio) = $0.59 + 1.0 \log_{10}$ (deposizione atmosferica)] $\cong 4$

La valutazione del R.D. richiede informazioni e conoscenze specifiche, tra queste risulta importante la corretta valutazione della crescita annua del muschio. I dati che si ottengono servono solitamente come informazione generale relativa alle ricadute e forniscono informazioni relative al tipo di pressione cui un'area è sottoposta.

2.8 Prelievo e trattamento dei campioni superficiali di suolo

La raccolta e la successiva analisi del suolo/substrato serve per valutare l'"effetto suolo" (aumento di concentrazione causato da particelle terrigene che dal suolo si depositano sulle foglioline dei muschi) e acquisire, nello stesso tempo, informazioni inerenti la concentrazione nel suolo di contaminanti e valutarne in parte la qualità.

Il Fattore di Arricchimento (F.A.) [16] si ottiene dal rapporto (Concentrazione Elemento nel muschio/Concentrazione di Al nel muschio, diviso Concentrazione Elemento nel suolo/Concentrazione Al nel suolo).

Per valutare il F.A. si preferisce utilizzare l'elemento alluminio in quanto le concentrazioni presenti nel suolo sono dell'ordine del per cento e quindi difficilmente influenzabili dalle ricadute di origine antropica e/o naturali.

Se il F.A. risulta superiore a 10, le concentrazioni riscontrate nei muschi sono imputabili alle attività dell'uomo o sono di tipo naturale, ad esempio le attività dei vulcani. Per F.A. uguali o inferiori a 10 l'origine delle ricadute è principalmente dovuta al suolo o substrato.

Il campionamento del suolo prevede l'asportazione di uno strato superficiale di spessore differente a seconda del tipo di indagine che si vuole effettuare, del tipo di pressione antropica e dell'utilizzo del suolo stesso.

Gli spessori di suolo da raccogliere sono:

- 0-2 cm per indagini di ricadute recenti (bordi stradali, contaminazioni accidentali, aree cittadine, ecc.)
- 0-5 cm per impianti industriali, aree boschive, ecc.
- 0-30 cm per aree agricole.

Per la raccolta del suolo occorre procedere nel modo seguente:

- Utilizzare tassativamente la stessa area dove è stato prelevato il muschio (quadrato 20 x 20 metri) (figura 7).

- Asportare la lettiera e raccogliere su tutta l'area almeno 20 sottocampioni da circa 100-150 g ciascuno che andranno miscelati in campo a formare un unico campione composito.
- Raccolto il suolo (composito) e posto in un cristallizzatore o contenitore in vetro, togliere manualmente sassi, rami e il materiale grossolano e porre il campione di suolo in un sacchetto di plastica annotando le informazioni descritte per i muschi.
- Essiccare in laboratorio il suolo in stufa a 40° C. per 48 ore.
- Setacciare utilizzando un setaccio di maglie di 2 mm.
- Macinare la frazione inferiore o uguale a 2 mm con un mulino a sfere di agata e riporre il suolo macinato in un recipiente in polietilene con doppio tappo, precedentemente lavato, introducendo nel recipiente una sfera in teflon o vetro di diametro di 10 mm, per omogeneizzare il campione macinato prima di ogni pesata.

I campioni di suolo sono così pronti per essere sottoposti a trattamenti e analisi specifiche per l'indagine che si desidera effettuare.

2.9 Estrazione in acqua regia

Si consiglia di utilizzare il metodo I.S.O. n. 11466 per la mineralizzazione dei campioni di muschio e di suolo. Tale metodo permette un alto rendimento di estrazione per i contaminanti inorganici compresi platino, palladio e rodio. Utilizzando un forno a microonde si può ottenere, con acqua regia, un livello di mineralizzazione per i muschi e suoli paragonabile al metodo I.S.O. sopra citato.

2.10 Metodi analitici

La strumentazione analitica non viene né descritta né riportata. Essa deve essere adeguata allo scopo che si vuole ottenere e allo stesso tempo sufficientemente sensibile per poter valutare le concentrazioni degli elementi e composti che si vogliono indagare nei muschi e nei suoli.

Risulta infine indispensabile utilizzare un numero adeguato di materiali certificati standard quali N.B.S. (National Bureau of Standards), C.R.M. (Certified Reference Material), N.I.S.T. (National Institute of Standardization) e N.R.C.-C.N.R.C. (National Research Council Canada).

2.11 Conclusioni

Lo scrivere delle Linee Guida fa correre il rischio di commettere errori, essere incompleti e poco esaustivi, e urtare a volte la sensibilità di colleghi.

Ma poi resta il messaggio per molti che si interessano di monitoraggio ambientale, un messaggio forte dove poter lavorare in comune, poter formare un vasto gruppo, con la possibilità di confrontare i risultati e trarre profitto dalle esperienze di tanti colleghi anche senza conoscerli di persona.

Resta una visione molto più profonda e completa per comprendere ciò che avviene nell'ambiente, nell'aria, nel suolo sino ad arrivare all'uomo, dove i particolari e le esperienze più disparate sono unite da un filo conduttore, dall'utilizzo di uno stesso linguaggio che è il metodo comune, il metodo standard.

Le Linee Guida qui presentate, con tutti i loro limiti, permetteranno di tracciare un solco sicuro e profondo per il monitoraggio ambientale delle ricadute al suolo, permetteranno una comprensione e una collaborazione a più livelli che coinvolgerà da una parte piccole e grandi aree e dall'altra un numero ampio di ricercatori che si occupano di Ambiente.

Bibliografia

[1] Cenci R. M. (1999). L'utilizzo di muschi indigeni e trapiantati per valutare in micro e macro aree le ricadute al suolo di elementi in tracce: proposte metodologiche. Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente. Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale. Serie Atti 2-1999. 241-263 pp.

[2] Herpin U., Berlekamp J. (1996). The distribution of heavy metals in a transect of the three states: the Netherlands, Germany and Poland, determined with the aid of moss monitoring. *The Science of the Total Environment*. 187: 185-198 pp.

[3] Nriagu J. O., Pacyna J. M. (1988). Quantitative assessment of worldwide contamination of air, waters and soils by trace metals. *Nature*. 333: 134-139 pp.

[4] Strahler A. N. (1984). *Geografia fisica*. Piccin. 271-280 pp.

[5] Rühling A. (1994). *Atmospheric Heavy Metal Deposition in Europe*. Nord. 58 pp.

[6] UNECE ICP Vegetation. (2003). Heavy metals in European mosses. 2000-2001 survey. UNECE ICP Vegetation. 1-45 pp.

[7] Manning W. J., Feder W. A. (1980). *Biomonitoring air pollutants with plants*. Applied Science Publishers, London. 285 pp.

[8] Gerola F. M. (1988). *Biologia vegetale. Sistematica Filogenetica*. UTET, II Edizione. 351-364 pp.

[9] Rühling A., Tyler G. (1970). Sorption and retention of heavy metals in the woodland moss *Hylocomium splendens* (Hedw) Schimp. Br. Et Sch. Oikos. 21: 92-97 pp.

[10] Brown D. H. (1984). Uptake of Mineral Elements and Their Use in Pollution Monitoring. *The experimental Biology of Bryophytes*. 229-255 pp.

[11] Goodman G. T., Roberts T. M. (1971). Plants and soils as indicators of metals in the air. *Nature*. 231: 287-292 pp.

[12] Cenci R. M. (responsabile del progetto), Lodigiani G., Benedetti A., Beone G.M., Bouraoui F., Brangi A., Brenna S., Carlon C., Casale M., Filippi N., Gaulio W., Musmeci L., Pompili L., Privitera M., Puglisi M., Sena F., Umlauf G. (2006). Il suolo della Provincia di Pavia. Valutazione della concentrazione di composti organici e inorganici persistenti attraverso lo sviluppo di una rete di monitoraggio del suolo. EUR Report n. 22132 IT. ISBN 10-92-894-8619-8. 128 pp.

[13] Cenci R. M. (responsabile del progetto), Barbieri M., Bidoglio G., Bo F., Corace C., Cocheo V., Contini S., Dabergami D., D'Alberti F., D'Alessandro M., De Saeger E., Di Nicolantonio S., Leita L., Locoro G., Leva F., Mondini C., Paracchini B., Sena F., Skejo-Andresen H., Stella S., Trincherini P. e Umlauf G. (2003). Monitoraggio ambientale antecedente l'entrata in funzione di un termodistruttore. (CD). EUR Report n. 20674 IT.

[14] Cenci R. M. and Sena F. (Editors). Cenci R. M., Sena F., Filippi N., Lodigiani G., Beone G. M., Christoph E., Mariani G., Spalla S., Locoro G., Skejo H. (2007). Il suolo della Provincia di Pavia (Parte due). EUR Report n. 22132 IT/2. ISBN 92-79-03877-x. 238 pp.

[15] Cenci R. M., Aleffi M., Leva F., Trincherini P., Corace C., Di Nicolantonio S. e Allegrini M. C. (2001). Parco Nazionale dei Monti Sibillini: suoli e muschi indigeni per valutare le ricadute di elementi in tracce. EUR Report 19750 IT. 24 pp.

[16] Bargagli R., Battisti E., Cardaioli E., Formichi P., Nelli L. (1994). La deposizione atmosferica di elementi in tracce in Italia. Prime rivelazioni mediante i muschi. *Inquinamento*. 2: 48-58 pp.

European Commission

EUR 23025 IT – Joint Research Centre

Title: LINEE GUIDA PER L'UTILIZZO DI MUSCHI INDIGENI,
MUSCHI TRAPIANTATI E SUOLI PER VALUTARE LE
RICADUTE DI CONTAMINANTI ORGANICI E INORGANICI

Author(s): R. M. Cenci

Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities

2007 – 36 – 21 x 29,7 cm

EUR – Scientific and Technical Research series – ISSN 1018-5593

ISBN LB-NA-23025-IT-C

Abstract

The guide lines for mosses present a strategic importance because their utilization permits to even the indications that obtain in different extension environments and human pressure, allowing to compare the results obtained with other methods. The morphological features guarantee the good utilization of mosses like bioindicators to obtain relevant information of fall out for a significant number of organic and inorganic contaminants of human origin and to appraise the quantity that is deposited to soil. Linking moss-soil is to retain indispensable to identify and discriminate the origin of contaminant fall out concerning man activities from soil origins.

The mission of the JRC is to provide customer-driven scientific and technical support for the conception, development, implementation and monitoring of EU policies. As a service of the European Commission, the JRC functions as a reference centre of science and technology for the Union. Close to the policy-making process, it serves the common interest of the Member States, while being independent of special interests, whether private or national.



ISBN 978-92-79-07329-8

