

Monitoraggio ambientale mediante l'impiego di suoli e di muschi per le discariche di Rio Riazzone, Rio Vigne e Poiatica di Reggio Emilia

*R.M. Cenci (*Responsabile del Progetto*), **M. Bergonzoni, *F. Bo, **L. Canovi, *S. Contini,
V. Guberti, *G. Locoro, **E. Meglioli, *L. Musmeci, *B. Paracchini, *V. Pedroni, ****M. Privitera,
****M. Puglisi, *L. Roncari, *F. Sena, **N. Simonazzi e *P. Trincherini

**Commissione Europea, Centro Comune di Ricerca, Istituto dell'Ambiente e della Sostenibilità, 21020 Ispra (VA) Italia*

***AGAC S.p.A., Via Gastinelli, 30, 42100 Reggio Emilia, Italia*

****Istituto Superiore di Sanità, Viale Regina Elena 299, 00161 Roma, Italia*

*****Università degli Studi di Catania Dipartimento di Botanica, Via Antonino Longo 19, 95125 Catania, Italia*



Monitoraggio ambientale mediante l'impiego di suoli e di muschi per le discariche di Rio Riazzone, Rio Vigne e Poiatica di Reggio Emilia

*R.M. Cenci (*Responsabile del Progetto*), **M. Bergonzoni, *F. Bo, **L. Canovi, *S. Contini, **V. Guberti, *G. Locoro, **E. Meglioli, ***L. Musmeci, *B. Paracchini, *V. Pedroni, ****M. Privitera, ****M. Puglisi, *L. Roncari, *F. Sena, **N. Simonazzi e *P. Trincherini

**Commissione Europea, Centro Comune di Ricerca, Istituto dell'Ambiente e della Sostenibilità, 21020 Ispra (VA) Italia*

***AGAC S.p.A., Via Gastinelli, 30, 42100 Reggio Emilia, Italia*

****Istituto Superiore di Sanità, Viale Regina Elena 299, 00161 Roma, Italia*

*****Università degli Studi di Catania Dipartimento di Botanica, Via Antonino Longo 19, 95125 Catania, Italia*

Corrispondenza:

Prof. R. M. Cenci

Commissione Europea, Centro Comune di Ricerca di Ispra

Istituto dell'Ambiente e della Sostenibilità, Unità Suolo e Rifiuti

Via E. Fermi 1 - T.P. 460 - I-21020 Ispra (VA)

Tel: 0332-789771 Fax: 0332-785601

E-mail: roberto.cenci@jrc.it

MISSION

The mission of the Institute for Environment and Sustainability is to provide scientific and technical support to EU policies for the protection of the environment contributing to a sustainable development in Europe. IES works in close partnership with the other Directorates General of the European Commission and the European Environment Agency. The main end user of our research is DG Environment; substantial support is also provided to other DGs (e.g.: DG Development, DG Energy and Transport, DG Agriculture, DG Enterprise, DG Information Society)

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 the following information

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.int>)

Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities

ISBN 92-894-9183-3

© European Communities, 2005

Reproduction is authorised provided the source is acknowledged

Printed in Italy

Corrispondenza a:

Prof. R. M. Cenci
Commissione Europea, Centro Comune di Ricerca di Ispra
Istituto dell'Ambiente e della Sostenibilità, Unità Suolo e Rifiuti
Via E. Fermi 1 - T.P. 460 - I-21020 Ispra (VA)
Tel: 0332-789771 Fax: 0332-785601
E-mail: roberto.cenci@jrc.it



PREFAZIONE

La ricerca si inserisce in un ampio progetto di controllo e salvaguardia dell'ambiente che AGAC persegue da molteplici anni e ha visto l'impiego di muschi e suoli per valutare le ricadute al suolo di elementi potenzialmente dannosi alla salute umana.

Gli studi conoscitivi sono stati affidati al Centro Comune di Ricerca della Commissione Europea da circa dieci anni e hanno permesso di meglio interpretare parte dei molteplici fenomeni che coinvolgono i rifiuti e la loro messa a dimora in discarica. Le discariche poste sotto controllo sono state tre, esse sono ubicate nella collina reggiana, in cave di argilla esaurite (Rio Riazzone e Rio Vigne) o in cave ancora in attività (Poiatica).

Le discariche di Rio Riazzone e Poiatica, classificate come impianti di smaltimento per rifiuti non pericolosi, rivestono una importanza rilevante nel sistema integrato di smaltimento rifiuti della Provincia di Reggio Emilia.

La discarica di Rio Vigne è esaurita dal dicembre '90; la medesima discarica è stata comunque inserita nello studio in quanto abbiamo ravvisato l'importanza di non sottovalutare nessun eventuale impatto sull'ambiente anche durante la fase successiva alla chiusura.

DISCARICA DI RIO RIAZZONE (Castellarano)

La discarica è utilizzata per rifiuti non pericolosi (D.Lgs. 36/03) ed è autorizzata ai sensi dell'Art. 28 del D.Lgs. 22/97; in tale discarica vengono smaltiti rifiuti solidi urbani e assimilabili, fanghi biologici stabilizzati e palabili derivanti da impianti di depurazione di insediamenti civili. L'invaso è stato ricavato da una ex cava di argilla opportunamente attrezzata e rimodellata.

L'impianto è dotato, per il trattamento delle acque, di una rete di convogliamento delle acque superficiali dei versanti; tale rete è realizzata in canali di ferro zincati e briglie di pietra; il drenaggio di fondo è realizzato con tubi di HDPE macrofessurati per la raccolta del percolato e vasche di stoccaggio in cemento. L'impianto di captazione e combustione del biogas è realizzato mediante pozzi di captazione verticali, linee di collegamento in HDPE, centrale di aspirazione per la messa in depressione dell'impianto e sistema per il recupero del biogas composto da due motori endotermici con potenza unitaria di 1MW accoppiati ad alternatori per la produzione di energia elettrica. La discarica è attiva dal dicembre 1991 e si sviluppa in quattro lotti da 500.000 mc. cadauno. L'attività di smaltimento rifiuti si svolge attualmente nel quarto ed ultimo lotto.

Per la discarica di Rio Riazzone è stato implementato un sistema di gestione Ambientale conforme alla norma UNI EN ISO 14001; la relativa certificazione è stata ottenuta il 1.8.1999.

DISCARICA DI POIATICA (Carpineti)

La discarica è utilizzata per rifiuti non pericolosi (D.Lgs. 36/03) ed è autorizzata ai sensi dell'Art. 28 del D.Lgs. 22/97; in tale discarica vengono smaltiti rifiuti solidi urbani e rifiuti speciali assimilabili agli urbani.

L'invaso è stato ricavato all'interno di una cava di argilla tuttora in attività utilizzando una porzione di cava ormai dimessa; la discarica è opportunamente recintata e dispone di una strada di accesso autonoma in modo che l'attività di smaltimento rifiuti esercitata da AGAC e l'attività di estrazione dell'argilla non interferiscono tra di loro. L'impianto è dotato di una rete di drenaggio delle acque superficiali; tale rete è realizzata con canali in ferro zincati; il drenaggio di fondo per la raccolta del percolato è realizzato con tubi di HDPE macrofessurati e vasche di stoccaggio in cemento; l'impianto di captazione e combustione del biogas è realizzato mediante pozzi di captazione verticali, linee di collegamento in HDPE, centrale di aspirazione per la messa in depressione dell'impianto e da una torcia di combustione. Dal mese di giugno 2004 è stato installato un motore endotermico della potenza unitaria di 0.65 MW accoppiato ad alternatori per la produzione di energia elettrica. La discarica è attiva dal luglio '95 e si sviluppa in un primo e secondo lotto da 520.000 mc. (ormai esauriti) ed un terzo lotto da 437.000 mc., a sua volta suddiviso in settori. Attualmente l'attività di smaltimento rifiuti si svolge nel secondo settore del terzo lotto. Nell'ambito della fase conoscitiva dello studio, per quanto riguarda i criteri di controllo per il miglioramento della gestione del "rifiuto", sono state sviluppate tecniche innovative e condotte campagne di monitoraggio utilizzando indicatori e bioindicatori.

Tale linea di monitoraggio è stata condotta dall'unità operativa diretta dal Prof. R.M. Cenci.

Agli autori dello studio rivolgiamo un caloroso ringraziamento per aver fornito un prezioso contributo scientifico nel campo delle discariche e dei rifiuti.

URIS CANTARELLI
(Amministratore Delegato di AGAC SPA)

INDICE

Abstract	3
Riassunto	4
Prefazione	5
Scopo del monitoraggio.....	6
Muschi indigeni, trapiantati e suoli superficiali.....	7
Stazioni di campionamento e date raccolta dei campioni	7
Materiali e metodi	8
<i>Valutazione del tasso di crescita.....</i>	<i>8</i>
<i>Trattamento e analisi dei campioni di suolo.....</i>	<i>11</i>
<i>Trattamento e analisi dei campioni di muschio</i>	<i>11</i>
Risultati e discussione	31
<i>Suoli.....</i>	<i>31</i>
<i>Muschi “area vasta”</i>	<i>32</i>
<i>Muschi nelle tre discariche.....</i>	<i>33</i>
<i>Discussione sugli elementi analizzati per ciascuna stazione</i>	<i>34</i>
<i>Platino e rodio in muschi e suolo.....</i>	<i>53</i>
Conclusioni	55
Bibliografia	56
Appendice	59

Abstract

*The considerable quantity and heterogeneity of materials that are put in to landfills and the transformation that happens are not always easily controllable. During the daily phases were the waste is put in landfill and also after the waste cover, the landfill introduces in the environment liquid, solid and gas. The quality/quantity control of different wastes produced from landfill becomes indispensable for correct management of landfills that has the purpose of safeguarding the environment. Bioindicators to assess the mass of the potential heavy metal flows and their origin, that could interest the body of the landfill and the neighbouring areas during the different work phases. Bioindicators (transplanted mosses) and superficial soils were used in this monitoring. Three landfills were monitored in the hills of Reggio Emilia (Italy). Poiatica landfill (Carpineti), the exhausted landfill of Rio Vigne (Scandiano) and Rio Riazzone landfill (Scandiano). Rio Riazzone landfill was the first in Italy to obtain the environmental certification of normative under ISO 14001. The landfills have a capacity of 2.000.000 m³ (Rio Riazzone), 700.000 m³ (Rio Vigne) and 957.000 m³ (Poiatica). They occupy, respectively, 90.000 m², 40.000 m² and 32.000 m². All the landfills are positioned on exhausted clay mines. Superficial soils and the technique of transplanted mosses belonging at *Scleropodium purum* (Hedw.) species were used for environmental monitoring. In the three landfills, comprehensively 15 stations were prepared. The positioning of mosses and the collection of the 3 cm of top caulides was for appraising the level of concentration of heavy metals. At the same time, the first 5 centimetres of superficial soil were collected. In the Poiatica landfill monitoring started in 1999, while for the other two landfills in April 2002. The monitoring finished in April 2004. During such period four samplings with six-monthly cadence were carried out. The purposes of this environmental monitoring was to estimate the concentrations of the elements investigated (Al, As, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Ti, Tl, V, Zn, Pt and Rh) during two years in 15 stations and the flows of element depositions (gram element/hectare area/year). In addition the origin of the element depositions was identified, discriminating between anthropogenic origin and soil-substrate origins. For more complete information, soils and mosses were also collected to know the level of concentration in a wide area around the landfills. During the monitoring period no significant increase of heavy metal concentrations was observed due to bad management of the landfills, or from the ash of fires from spontaneous combustions or caused by accidents. The results obtained for the elements investigated using mosses and superficial soils did not emphasise any specific anomalies. The concentration values present a situation of absolute "normality", similar to areas low level of human activity or natural areas.*

Riassunto

La notevole quantità ed eterogeneità di materiali che sono messi a dimora, e i processi di trasformazione che avvengono all'interno di una discarica, non sono sempre facilmente controllabili. Durante le fasi di stoccaggio giornaliero dei rifiuti, e anche dopo la chiusura, la discarica immette nell'ambiente liquidi, solidi e gas; il loro controllo diviene indispensabile per una corretta gestione che abbia come scopo finale la salvaguardia dell'ambiente.

Per valutare la massa dei potenziali flussi di elementi inorganici e la loro origine, che potrebbe interessare il corpo della discarica e le aree limitrofe durante le varie fasi di lavoro, sono stati utilizzati bioindicatori (muschi) e suoli superficiali.

Le discariche poste sotto controllo, site nei colli reggiani, sono state tre: discarica di Poiatica (Carpineti, RE), discarica di Rio Vigne (Scandiano, RE esaurita) e Rio Riazzone (Scandiano, RE). Quest'ultima è stata la prima discarica italiana ad ottenere la certificazione ambientale ai sensi della normativa UNI-EN ISO 14001. Le tre discariche sono impostate su ex-cave di argilla e hanno una potenzialità rispettivamente pari a:

- Rio Riazzone 2.000.000 m³
- Rio Vigne 700.000 m³
- Poiatica 957.000 m³.

Si sviluppano su di una superficie occupata dai rifiuti rispettivamente pari a:

- Rio Riazzone 90.000 m²
- Rio Vigne 40.000 m²
- Poiatica 32.000 m².

*Per l'indagine ambientale sono stati utilizzati suoli superficiali e muschi appartenenti alla specie *Scleropodium purum* (Hedw.). Nel corpo delle tre discariche sono state approntate complessivamente 15 stazioni utilizzando la tecnica del trapianto dei muschi (Cenci, 1999). Il posizionamento dei muschi con la raccolta dei 3 cm apicali dei caulidi, per valutare il livello iniziale di concentrazione e la raccolta dei primi 5 cm di suolo superficiale, sono stati effettuati per la discarica di Poiatica a partire dall'anno 1999, mentre per le altre due discariche dal mese di aprile 2002. L'indagine è terminata nel mese di aprile 2004, durante tale periodo sono stati effettuati quattro campionamenti con cadenza semestrale.*

Gli scopi di questa indagine sono stati di stimare gli andamenti della concentrazioni degli elementi indagati (Al, As, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Ti, Tl, V, Zn, Pt e Rh) nelle 15 stazioni e i flussi medi (g elemento/ha/anno) degli elementi.

Si è valutato inoltre l'origine delle deposizioni degli elementi, discriminando tra antropica-naturale e origine crostale.

In aggiunta a quanto descritto, mediante la raccolta di campioni di suolo e muschio, si è cercato di conoscere il livello di concentrazione degli elementi nell'"area vasta" potenzialmente interessata dalle discariche.

I risultati ottenuti per gli elementi indagati nei muschi e nei suoli non hanno evidenziato particolari anomalie, i valori di concentrazione documentano una situazione di assoluta "normalità" e tranquillità che può essere riscontrata in aree con ridotta pressione antropica o naturali.

Nel periodo di indagine non sono stati osservati significativi incrementi di concentrazione imputabili a una cattiva gestione delle discariche, oppure causati da incidenti occasionali o dalla cenere di fuochi derivanti da combustioni spontanee.

Prefazione

La bioindicazione quale metodica diagnostica per valutare lo stato di salute ambientale, presenta aspetti innovativi e vantaggiosi in contrapposizione alle metodiche tradizionali comunemente in uso.

L'uso di organismi vegetali come indicatori di inquinamento (bioindicatori) si contrappone con forza da alcuni anni e in molti casi sostituisce le tradizionali tecniche di monitoraggio.

I vantaggi risiedono soprattutto nella capacità di questi organismi di fungere da "integratori di dati" e nei bassi costi delle metodiche utilizzate.

Tra gli organismi vegetali i muschi appaiono i più indicati e utilizzati per il monitoraggio delle ricadute al suolo di elementi inorganici e composti organici, essendo in grado di fornire indicazioni circa l'entità delle ricadute e la loro origine.

Le caratteristiche intrinseche dei muschi, quali l'assenza di un vero apparato radicale, permettono loro di assorbire i nutrienti direttamente dall'atmosfera (Markert *et al.*, 1996) e trattenere elevate quantità di metalli pesanti derivanti da precipitazioni e deposizioni secche (Rüling and Tyler, 1968).

Oltre alla abbondante distribuzione che va dalle aree comprese tra i deserti e i ghiacciai, i muschi sono in grado di vivere in ambienti ad elevata contaminazione.

L'impiego muschi ha permesso il controllo, su buona parte del territorio europeo, delle deposizioni atmosferiche di metalli pesanti (Rüling, 1994; Rüling and Steinnes, 1998; UNECE, 2003). Il monitoraggio ha consentito di valutare nel tempo le variazioni delle deposizioni e di identificarne le fonti di provenienza.

Oltre ai metalli pesanti (Rüling and Tyler, 1970; Pilegaard, 1979; Rüling *et al.*, 1987; Ross, 1990; Markert, 1993; Herpin *et al.*, 1996; Berg and Steinnes, 1997; Gerdol *et al.*, 2000; Carballeira *et al.*, 2002; Ötvös *et al.*, 2003; Galsomiès *et al.*, 2003) i muschi permettono di valutare le ricadute di sostanze organiche (Thomas, 1984; Knulst *et al.*, 1995; Gerdol *et al.*, 2002) e radioelementi (Steinnes and Njastad, 1993; Giovani *et al.*, 1994; Delfanti *et al.*, 1999; Kirchner *et al.*, 2002; Ugur *et al.*, 2003).

In Italia le prime indagini mediante l'utilizzo di muschi risalgono alla fine degli anni '80.

L'abbinamento di muschi indigeni, trapiantati e suolo è stato utilizzato per la prima volta, in uno studio che ha avuto come scopo di valutare le ricadute di radioelementi e metalli pesanti nelle aree potenzialmente interessate alle ricadute di una centrale termoelettrica (Cenci *et al.*, 1995).

Nel caso specifico di questo studio, e per le informazioni che si volevano trarre, sono state utilizzate simultaneamente le tecniche dei muschi indigeni (memoria passata), la tecnica del trapianto (memoria presente) (Goodman e Roberts, 1971; Johnsen *et al.*, 1983; Gailey e Lloyd, 1986; Castello, 1996; Cenci *et al.*, 1999; Cenci *et al.*, 2001, Orlinski, 2002) e la raccolta del suolo.

Il suolo riveste una importanza primaria per valutare l'origine delle ricadute, mentre sembra influire in minima parte nell'accrescere la concentrazione nei muschi degli elementi indagati.

Scopo del monitoraggio

Il presente studio ha voluto valutare la concentrazione di metalli pesanti e macro elementi nei suoli delle tre discariche di Rio Vigne e Rio Riazzone (figura 1) e Poiatica (figura 2). Nelle figure 1 e 2 sono rappresentati i punti in cui sono state allestite le stazioni di monitoraggio.

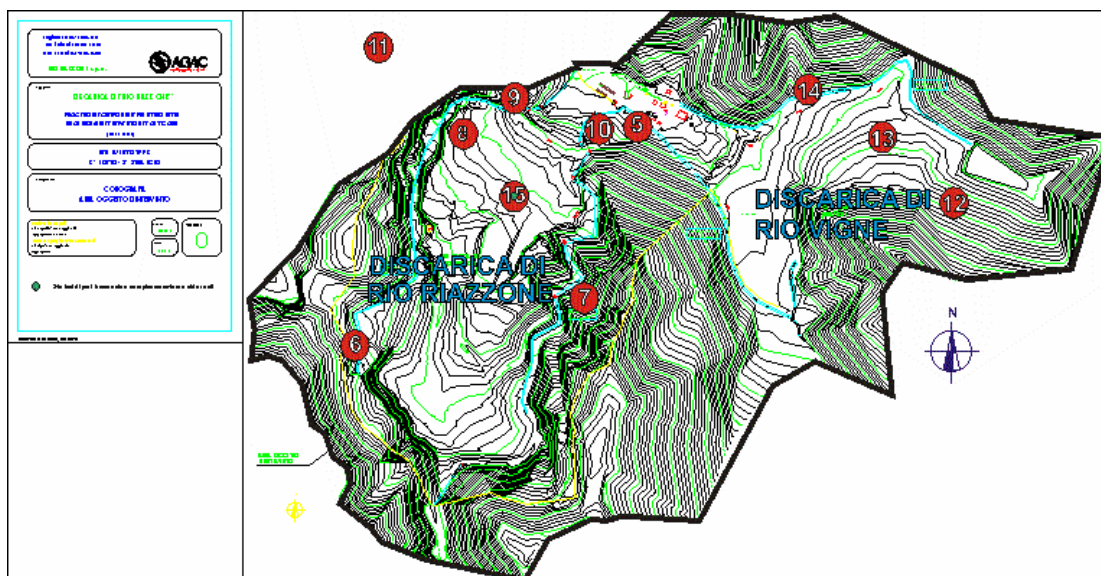


Figura 1. Ubicazione dei punti di campionamento (Rio Riazzone e Rio Vigne)

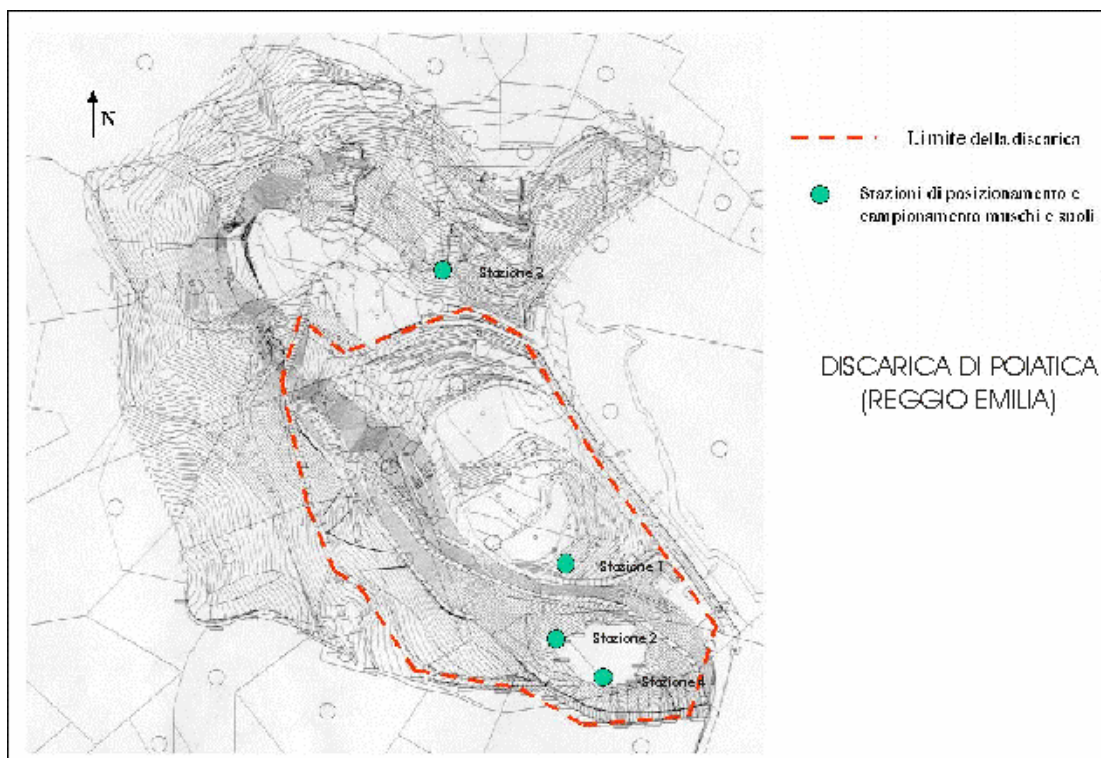


Figura 2. Ubicazione dei punti di campionamento (Poiatica)

Si è voluto quantificare l'accumulo di metalli pesanti (Al, As, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Ti, Tl, V, Zn, Pt e Rh) in un periodo di due anni di indagine e identificare la loro origine discriminando tra attività antropica/naturale e crostale. Inoltre con campioni di muschio indigeno raccolti nell'area vasta, si è cercato di stimare le ricadute avvenute in un periodo di circa 4 anni.

Il muschio utilizzato in questo monitoraggio ambientale appartiene alla specie *Scleropodium purum* (Hedw.) Limpr.

Muschi indigeni, trapiantati e suoli superficiali

La tecnica che vede l'utilizzo dei muschi per valutare le deposizioni atmosferiche di origine antropica è stata sviluppata negli anni sessanta; essa si basa sul fatto che i muschi ricevono prevalentemente le sostanze per il loro sostentamento direttamente dall'ambiente aeriforme che li circonda, riuscendo a vivere in ambienti ad elevata contaminazione.

Il suolo influisce in minima parte in quanto i muschi sono privi di vere radici e di un tessuto di conduzione per l'acqua.

L'assenza o la riduzione della cuticola che riveste i muschi, ha come conseguenza diretta un veloce e massivo adsorbimento/assorbimento di ioni e di metalli pesanti.

Ad una lenta crescita si contrappone una longevità spiccata che permette di valutare per un tempo considerevole le ricadute atmosferiche.

La crescita annua dei muschi è stata stimata seguendo le indicazioni di Zechmeister (1995a, 1998) e delle esperienze effettuate nell'area di Castano Primo (Dabergami e Cenci, 2002).

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

Stazioni di campionamento e date di raccolta dei campioni

La prima campagna di posizionamento e raccolta di muschi e suoli è stata effettuata nei giorni compresi tra il 3 e il 10 aprile 2002. Sono state approntate complessivamente 15 stazioni di monitoraggio (schede in appendice da I a XVII e dettagli fotografici da fig. XVIII a fig. XXXII) per valutare le ricadute al suolo di metalli pesanti; 4 stazioni nel corpo della discarica di Poiatica e 11 stazioni nella discarica di Rio Riazzone e Rio Vigne.

Nell'area vasta, al fine di definire il livello di concentrazione, sono stati raccolti numerosi campioni di muschio per valutare il livello base.

Per i muschi trapiantati nelle 4+11 stazioni, la cadenza di raccolta dei caulidi è stata semestrale con una durata complessiva di due anni.

La seconda raccolta di muschi è stata effettuata dal 14 al 17 ottobre 2002, in tale occasione si è potuto constatare che la stazione 3 (Poiatica) era stata eliminata dai responsabili AGAC per lasciare spazio ad infrastrutture. Nello stesso periodo si è provveduto a ripristinare la stazione 14 (Rio Riazzone) con muschio nuovo in quanto il precedente tappeto muscinale era stato danneggiato.

Dal 31 marzo al 3 aprile 2003 è stata effettuata la raccolta dei muschi inerenti la terza campagna.

La quarta campagna è stata effettuata dal 13 al 16 ottobre 2003, durante tale periodo si è potuto constatare una generale incuria delle stazioni, in particolare i muschi non sono stati innaffiati durante il periodo estivo dal personale di AGAC come da accordi.

La quinta e ultima campagna di raccolta muschi è stata effettuata nel periodo compreso tra il 29 marzo e il primo aprile 2004. Durante tale campagna è stato comunicato da personale AGAC che le stazioni numerate 6 e 15 erano state danneggiate da eventi meteorologici, quindi in dette stazioni non si è potuto procedere alla raccolta dei campioni di muschio.

Materiali e metodi

Nelle quindici stazioni è stato posizionato un tappetino di muschio appartenente alla specie *Scleropodium purum* (Hedw.) Limpr. avente le dimensioni di 25 x 25 cm; il muschio è stato posizionato allo stesso livello del suolo (figura 3). Al momento del posizionamento venivano raccolti, in ciascuna stazione, circa 4 g dei tre centimetri apicali dei caulidi, per valutare la concentrazione al momento “zero” degli elementi da considerare. In ogni stazione si è provveduto a proteggere il muschio dalle radiazioni solari dirette, costruendo un riparo con una rete a maglie di materiale plastico sostenuta da pali in legno (figura 4).

Contemporaneamente, nelle immediate vicinanze del campione di muschio posizionato, dopo aver tolto la lettiera, si prelevava un campione di suolo (tavoletta), avente come misura 20 x 20 cm con una profondità di 5 cm.

Contestualmente nell'area vasta si raccoglievano campioni di muschio indigeno (i 3 centimetri apicali dei caulidi), e di suolo utilizzando la stessa metodica messa in opera per le 15 stazioni. Tali campioni sono serviti per valutare il livello base di concentrazione degli elementi esternamente al corpo della discarica.

Tutti i campioni sono stati conservati in sacchetti in polietilene pre-trattati fino al momento delle operazioni di pulitura, essiccamento e macinatura avvenuti nei laboratori del Centro Comune di Ricerca di Ispra (VA), Istituto dell'Ambiente, Unità Suolo e Rifiuti.

Valutazione del tasso di crescita

Il tasso di crescita è stato valutato utilizzando sottili fili di cotone che venivano legati a caulidi di muschio, gli incrementi della crescita sono stati misurati semestralmente e hanno fornito valori differenti tra le diverse aree, ciò potrebbe essere imputato alla difficoltà di utilizzare in campo tale metodica. I valori ottenuti erano compresi tra 0.3 e 1.2 cm/anno.

Pertanto si è pensato di utilizzare un valore medio pari a 0.75 cm/anno, tale valore potrebbe ben corrispondere alla reale crescita dei caulidi in un area collinare quale quella reggiana.

Considerando il tempo di crescita pari a 0.75 cm/anno, il tempo coperto dai caulidi (avendo raccolto i 3 cm apicali, figure 5 e 6), corrisponderebbe a 4 anni (Zechmeister, 1995a; 1998).

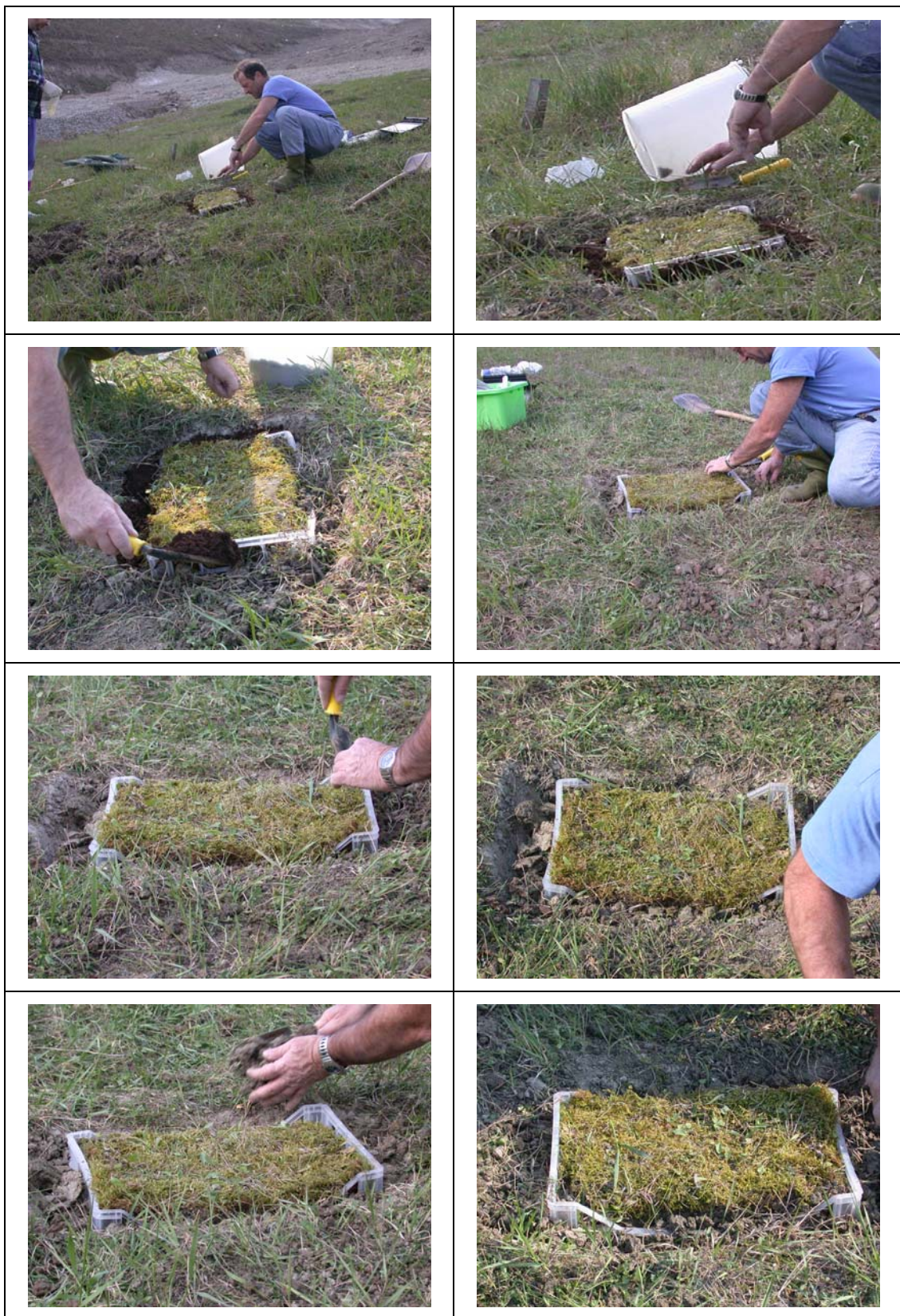


Figura 3. Operazioni di posizionamento del tappeto di muschio



Figura 4. Allestimento di una struttura in materiale plastico per la protezione del tappeto mucinale dai raggi solari



Figura 5. Legatura dei caulidi di muschio per valutare il tasso di crescita



Figura 6. Dettaglio dei caulidi di muschio e raccolta dei caulidi di muschio

Trattamento e analisi dei campioni di suolo

I campioni di suolo, dopo adeguati trattamenti in laboratorio, sono stati analizzati mediante Fluorescenza ai Raggi X (FRX) al fine di ottenere le concentrazioni di macro-elementi. Il Hg totale veniva quantificato direttamente sul campione solido mediante Spettrometria di Assorbimento Atomico (SAA); la concentrazione degli elementi in tracce veniva misurata mediante Plasma Induttivo Abbinato alla Spettrometria di Massa (ICP-MS) dopo mineralizzazione acida dei campioni mediante microonde.

Si è provveduto inoltre a misurare più standard con caratteristiche geochimiche o strutturali simili a quelle dei campioni di suolo raccolti: NIST 2711 e CRM 141R, 143R e 280. I risultati ottenuti (media di due analisi indipendenti) vengono riportati in tabella 1, 2 e 22. La tabella 21 riporta la percentuale dei valori di recupero.

Viene oltresi messo in risalto in questo monitoraggio ambientale l'utilizzo dei suoli abbinato ai muschi, come consigliato da più autori (Bargagli *et al.*, 1994), per permettere di valutare "l'effetto suolo".

Trattamento e analisi dei campioni di muschio

Tutti i campioni di muschio, dopo una adeguata pulitura manuale, venivano essiccati, macinati e una aliquota rappresentativa veniva mineralizzata in ambiente acido mediante microonde. Le soluzioni sono state analizzate mediante ICP-MS per valutare la concentrazione. Il Hg totale veniva quantificato direttamente sul campione solido mediante Spettrometria di Assorbimento Atomico (SAA).

Tabella 1. Concentrazione di macro-elementi (% e mg/kg massa secca) nei suoli superficiali riferibili alle discariche di Poiatica (staz. da 1 a 4), Rio Riazzone e Rio Vigne da 5 a 15

Staz	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	K ₂ O %	Fe ₂ O ₃ %	MgO %	Na ₂ O %	P ₂ O ₅ mg/kg	S mg/kg	TiO ₂ mg/kg
1	56.25	16.95	5.40	3.20	6.00	2.65	1.25	897	2683	7214
2	52.10	16.20	8.50	2.90	5.20	2.75	0.55	785	684	6929
3	54.30	15.15	8.10	2.75	5.55	3.25	1.20	938	277	6311
4	56.85	16.30	2.35	3.00	6.35	2.60	0.85	968	1009	7048
5	51.50	11.50	11.10	2.25	4.20	2.70	1.25	1273	2207	4823
6	52.90	11.10	9.95	2.55	3.50	2.70	1.70	1160	503	3927
7	50.60	12.25	9.80	2.35	4.85	3.05	1.15	1455	1288	5439
8	43.55	11.05	16.60	2.25	4.15	3.15	0.75	888	351	4650
9	51.75	13.80	10.60	2.65	5.05	3.15	1.05	969	305	5943
10	51.10	12.85	10.50	2.45	4.80	3.15	1.05	1184	1564	5497
11	40.15	7.95	18.70	1.75	2.95	1.55	0.30	1078	1133	3838
12	52.30	12.95	9.05	2.40	4.95	2.70	1.10	1551	758	5746
13	51.15	12.80	11.30	2.40	4.80	3.40	1.05	1044	898	5490
14	50.65	12.75	10.85	2.50	4.90	3.15	1.00	1345	1418	5585
15	38.70	8.50	21.15	1.90	3.20	2.05	0.95	683	1237	3884
*	55.90	15.95	6.65	2.95	5.70	3.60	2.15	932	1889	6551
**	43.65	9.70	17.20	2.05	3.25	2.60	0.85	1799	884	4054
CRM 280	61.35	14.85	2.20	3.05	6.45	2.70	3.65	2821	1928	7105

*Castel Novo Monti (gessi triassici) (area vasta)

** Poiano (area vasta)

Si è provveduto inoltre a misurare più standard con caratteristiche simili a quelle dei campioni di muschio raccolti: NIST 1515, CRM 61, 62 e 482, i risultati sono riportati nella tabella 22. La tabella 20 riporta la percentuale dei valori di recupero.

La tabella 1 riporta i valori di concentrazione di macro-elementi (mg/kg massa secca) nei suoli superficiali riferibili alle discariche di Poiatica (stazioni da 1 a 4), Rio Riazzone e Rio Vigne (stazioni da 5 a 15).

La tabella 2 riporta i valori di concentrazione di elementi in tracce (mg/kg massa secca) nei suoli superficiali riferibili alle discariche di Poiatica, (stazioni da 1 a 4), Rio Riazzone e Rio Vigne (stazioni da 5 a 15).

La tabella 3 riporta i valori di concentrazione (mg/kg massa secca) al “tempo zero” nei muschi della discarica di Poiatica (Carpinetti) utilizzando i muschi rimasti dalla precedente indagine e *Rio Riazzone e *Rio Vigne

Le tabella da 4 a 7, corrispondono rispettivamente alle stazioni da 1 a 4: andamento nel tempo della concentrazione degli elementi analizzati nei muschi riferibili alla discarica di Poiatica.

Tabella 2. Concentrazione di metalli pesanti (mg/kg massa secca) nei suoli superficiali riferibili alle discariche di Poiatica, Rio Riazzone e Rio Vigne. In rosso sono riportati i valori di concentrazione che superano il limite tabellare del DM 471 del 1999

Staz	As mg/kg	Bi mg/kg	Cd mg/kg	Co mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg µg/kg	Mn mg/kg
1	6.2	0.3	0.54	15	87	59	48	940
2	8.8	0.6	0.28	14	105	50	124	588
3	6.8	0.6	0.09	14	115	48	55	911
4	5.8	0.6	0.19	16	105	80	86	1596
5	4.5	0.4	0.07	9	104	30	49	428
6	4.1	0.4	0.15	11	141	149	38	652
7	6.3	0.5	0.46	11	114	29	67	492
8	5.4	0.5	0.10	13	97	31	37	615
9	9.2	0.5	0.13	11	107	28	39	462
10	6.1	0.5	0.15	11	108	28	47	493
11	4.7	0.6	0.8	7	56	28	77	409
12	7.7	0.6	0.6	11	106	49	57	508
13	5.5	0.5	0.4	10	109	24	41	472
14	7.5	0.6	0.4	11	108	29	50	467
15	4.9	0.7	0.5	10	63	16	28	640
*	7.3	0.7	0.4	16	121	54	58	1069
**	2.8	0.4	0.5	5	83	24	57	492
DM 471	20		2	20	150	120	1000	
CRM 280					110	88	0.69	1420
NIST2711	101		40.1	8.9			6.6	
Staz	Mo mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sb mg/kg	Sc mg/kg	Tl mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
1	1.3	51	27	0.02	4.9	0.1	39	130
2	1.4	43	28	0.22	8.1	0.6	44	148
3	0.8	80	21	0.18	9.1	0.5	65	115
4	0.6	81	45	0.2	8	0.5	41	154
5	0.4	62	24	0.18	5.1	0.3	28	112
6	0.3	118	23	0.18	6	0.4	37	103
7	0.8	67	31	0.2	8.1	0.6	84	128
8	0.3	54	20	0.18	8.2	0.6	79	105
9	0.3	60	18	0.17	6.3	0.4	43	112
10	0.4	66	22	0.18	5	0.4	37	112
11	0.5	24	69	0.2	4.5	0.4	50	125
12	0.6	68	26	0.2	5	0.3	44	122
13	0.6	65	17	0.2	4.4	0.3	34	109
14	0.5	61	25	0.2	5.1	0.4	61	116
15	0.4	20	17	0.2	6.9	0.5	63	88
*	0.8	90	22	0.2	7.3	0.5	87	119
**	0.3	46	23	0.2	1.7	0.4	48	97
DM 471		120	100	10		1	90	150
CRM 280		70	83					289
NIST2711	1.4				8	2.3	79.3	

*Poiatica, strada che porta alle cave di argilla, confinante la recinzione della discarica

**Le scuderie (Carpineti), strada sterrata che porta all'agriturismo

Le tabella da 8 a 18, corrispondono rispettivamente alle stazioni da 5 a 15: andamento nel tempo della concentrazione degli elementi analizzati nei muschi riferibili alle discariche di Rio Riazzone e Rio Vigne.

La tabella 19 riporta i valori di concentrazione di Rh e Pt ($\mu\text{g/kg}$ massa secca) in alcuni campioni di suolo e muschio.

Le tabelle 20 e 21 riportano i valori percentuali di recupero per campioni standard di riferimento, mentre la tabella 22 riporta i valori di concentrazione del Hg totale in materiali certificati NIST e CRM.

*Tabella 3. Concentrazione (mg/kg massa secca) di alcuni campioni di muschio raccolti nelle discariche di Poiatica (Carpinetti) utilizzando i muschi rimasti dalla precedente indagine, *Rio Riazzone, *Rio Vigne ed altre località *, **, *** appartenenti all' "area vasta"*

Stazione	1 prec esper	3 prec esper	4 prec esper	7 prec esper	7 indig	*4 ind	*6 ind	*7 ind	*8 ind	*9 ind	*	**	***	***	***
elementi	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Al	3400	5300	3000	4700	2400	4500	3000	2800	2700	2300	2800	2900	2400	3900	4100
As	0.7	0.8	0.3	1	0.4	0.4	0.6	0.4	0.5	0.5	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8
Bi	0.2	0.2	0.1	0.06	0.05	0.02	0.03	0.03	0.02	0.05	0.04	0.03	0.04	0.07	0.8
Cd	0.4	0.5	0.5	0.4	0.3	0.2	0.5	0.3	0.6	0.3	0.4	0.3	0.3	0.6	0.5
Co	3	3	3	1.2	0.6	0.9	1.1	0.7	0.9	0.7	0.7	0.5	0.9	0.7	1.1
Cu	20	15	18	13	9	14	10	5	8	7	7	5	10	11	12
Cr	20	30	26	10	14	14	25	16	11	11	25	8	11	6	9
Hg	0.12	0.12	0.21	0.16	0.12	0.10	0.18	0.18	0.09	0.16	0.11	0.08	0.10	0.09	0.11
Mn	213	191	272	90	34	57	89	63	54	53	63	185	75	44	87
Ni	14	17	12	5	4	5	8	6	4	7	4	3	5	5	11
Mo	0.9	0.9	0.7	0.9	0.5	0.7	0.9	0.4	0.8	0.3	0.3	0.3	0.6	0.7	0.8
Pb	13	21	30	22	10	6	14	12	5	12	8	13	7	10	14
Sb	0.4	0.4	0.3	0.1	0.2	0.1	0.3	0.3	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.6	0.5
Sc	3	3	2	0.7	0.7	0.2	0.4	0.2	0.1	1	0.4	0.3	0.3	0.4	0.8
Ti	65	171	164	125	47	52	52	40	46	48	37	38	61	34	47
Tl	0.2	0.2	0.2	0.08	0.08	0.04	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.02
V	18	19	15	8	3	6	5	3	6	5	3	3	5	5	6
Zn	88	71	97	82	50	74	78	73	82	65	71	71	62	66	62

*numero (muschio indigeno raccolto nelle tre discariche)

*Castel Novo Monti (gessi triassici) (area vasta)

** Poiano (area vasta)

***Le scuderie (Carpinetti), strada sterrata che porta all'agriturismo (area vasta).

Tabella 3a. Ratei di deposizione (g/ha/anno) per gli elementi indagati nell' "aera vasta" raffrontati con alcune indagini effettuate in Italia

	Al	As	Bi	Cd	Co	Cu	Cr	Hg	Mn
1	1970	1	0.06	0.3	0.6	9.5	8.7	0.15	42
2	2300	0.8	0.05	0.4	0.7	7.4	15.6	0.1	78
3	2380	1	0.03	0.3	0.5	5.3	5	0.12	231
4	3200	1.3	0.08	0.6	0.7	11.6	3.7	0.1	55
5		3.9	0.11	0.6	1	31	7.9	0.17	151
6		6.6	0.14	0.9	1.7	64	8.1	0.2	255
7		3.3	0.4	1.7	1.1	20	6	0.2	147
8		3.1	0.11	0.8	1.4	22	5.6	0.13	186
9		7.3	0.05	0.21	1.7	13	6	0.07	178
	Ni	Mo	Pb	Sb	Sc	Ti	Tl	V	Zn
1	4.4	2.2	7.9	0.25	0.5	42	0.11	2.9	63
2	4.4	1.3	6.3	0.25	0.3	33	0.04	2.9	89
3	3.3	1.3	10.3	0.25	0.2	34	0.04	2.9	88
4	5.5	3.1	7.9	0.7	0.3	30	0.05	4.8	82
5	42	8	18	1	3.7	202	0.07	10	98
6	18	8.7	28	0.93	4.2	272	0.16	10.8	386
7	11	6.9	15	0.6	3.7	216	0.06	6	208
8	15	10	12	1.8	1.1	182	0.1	8	177
9	12	5	5.4	0.23	4.7	409	0.28	11	60

- 1) Stazione 7 muschio indigeno;
 2) Castel Nuovo Monti gessi triassici (RE);
 3) Poiano (RE);
 4) Le Scuderie Carpineti (RE);
 5) Castano Primo (MI) (Dabergami e Cenci, 2002);
 6) Trezzo D'Adda (MI) (Cenci et al., 2003);
 7); Parona (PV) (Cenci, 2002);
 8) Piemonte (Nappi et al., 2003);
 9) Sicilia (Cenci et al., 2002).

Tabella 4. Stazione 1: andamento nel tempo della concentrazione degli elementi analizzati nei muschi riferibili alla discarica di Poiatica, variazione della concentrazione tra il valore iniziale e finale, rateo di deposizione e Fattore di Arricchimento

Stazione	Tempo	(mesi)				Δ	*Rateo deposiz	F.A.
1	0	6	12	18	24			
<i>elementi</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>positivo</i>	<i>g/ha/anno</i>	
Al	7400	8300	8600	6900	7900	500		
Fe	3700	3600	5400	4400	2800			
As	0.8	1	0.2	0.3	1	0.2	1	0.4
Bi	0.1	0.1	0.05	0.05	0.03			
Cd	0.4	0.9	0.7	0.7	0.6	0.2	0.4	4
Co	1	3	1	1	1.6	0.6	1.2	0.1
Cu	17	45	42	43	14			
Cr	12	21	16	18	12			
Hg	0.14	0.12	0.15	0.11	0.08			
Mn	65	48	46	58	80	15	37.4	0.2
Ni	5	7	6	7	5			
Mo	1	1	0.3	0.5	0.6			
Pb	15	21	13	18	9			
Sb	0.6	0.3	0.3	0.5	0.3			
Sc	1.3	1.1	2.6	1.7	1.2			
Ti	122	110	76	80	120			
Tl	0.1	0.1	0.05	0.1	0.1			
V	15	18	6	7	8			
Zn	98	121	76	80	120	22	55	2

**Il rateo di deposizione è stato calcolato solo per gli incrementi positivi delle concentrazioni osservate tra il valore iniziale e dopo 24 mesi*

Tabella 5. Stazione 2: andamento nel tempo della concentrazione degli elementi analizzati nei muschi riferibili alla discarica di Poiatica, variazione della concentrazione tra il valore iniziale e finale, rateo di deposizione e Fattore di Arricchimento

Stazione	Tempo	(mesi)				Δ	*Rateo deposiz	F.A.
2	0	6	12	18	24			
<i>elementi</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>		<i>positivo</i>	<i>g/ha/anno</i>	
Al	4200	4300	4900	4700	3800			
Fe	620	980	440	800	1100	480		
As	0.8	0.4	0.5	0.8	1.3	0.5	2.6	1.2
Bi	0.2	0.05	0.1	0.08	0.08			
Cd	0.4	0.4	0.2	0.4	0.7	0.3	0.6	23
Co	3	0.8	1.2	2.3	3.2	0.2	0.4	0.3
Cu	16	16	13	24	26	10	21.2	4
Cr	22	16	7	11	16			
Hg	0.16	0.17	0.10	0.11	0.09			
Mn	229	111	90	189	145			
Ni	11	5	2	10	11			
Mo	0.9	0.5	0.4	0.9	0.6			
Pb	27	10	4	8	7			
Sb	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1			
Sc	2	0.6	0.8	0.6	0.8			
Ti	176	210	60	92	74			
Tl	0.3	0.03	0.04	0.04	0.06			
V	18	4	4	7	10			
Zn	79	88	57	70	75			

**Il rateo di deposizione è stato calcolato solo per gli incrementi positivi delle concentrazioni osservate tra il valore iniziale e dopo 24 mesi*

*Tabella 6. Stazione 3: andamento nel tempo della concentrazione degli elementi analizzati nei muschi riferibili alla discarica di Poiatica, variazione della concentrazione tra il valore iniziale e finale,. **Questa stazione è stata eliminata dopo i primi 6 mesi per iniziativa di AGAC***

Stazione 3	Tempo 0	(mesi) 6	Δ positivo
<i>elementi</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	
Al	12500	11200	
Fe	4900	5600	
As	0.8	0.7	
Bi	0.2	0.1	
Cd	0.4	0.2	
Co	2	2.2	0.2
Cu	16	18	2
Cr	19	23	4
Hg	0.22	0.15	
Mn	77	59	
Ni	8	11	3
Mo	1.2	1	
Pb	17	8	
Sb	0.5	0.2	
Sc	2	1	
Ti	267	169	
Tl	0.2	0.1	
V	15	9	
Zn	76	63	

Tabella 7. Stazione 4: andamento nel tempo della concentrazione degli elementi analizzati nei muschi riferibili alla discarica di Poiatica, variazione della concentrazione tra il valore iniziale e finale, rateo di deposizione e Fattore di Arricchimento

Stazione	Tempo	(mesi)					Δ	*Rateo	F.A.
4	0	6	12	18	24	positivo		deposiz.	
elementi	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg				g/ha/anno	
Al	4700	3900		3200	4100				
Fe	1900	830		1200	1600	300			
As	0.8	1		0.7	0.6				
Bi	0.1	0.1		0.05	0.06				
Cd	0.4	0.4		0.6	0.6	0.2		0.4	19
Co	1	1.3		0.8	1.4	0.4		0.8	0.5
Cu	13	4		14	17	4		4.4	1
Cr	8	3		7	5				
Hg	0.16	0.13	0.15	0.10	0.18	0.02		0.04	7.1
Mn	51	47		52	55	4		16	0.1
Ni	4	2		5	5	1		2.2	0.2
Mo	0.9	0.5		0.6	0.7				
Pb	12	13		10	6				
Sb	0.4	0.2		0.5	0.2				
Sc	1	0.6		0.9	0.8				
Ti	93	111		82	71				
Tl	0.1	0.1		0.05	0.08				
V	6	4		4	3				
Zn	89	38		46	58				

**Il rateo di deposizione è stato calcolato solo per gli incrementi positivi delle concentrazioni osservate tra il valore iniziale e dopo 24 mesi*

Tabella 8. Stazione 5: andamento nel tempo della concentrazione degli elementi analizzati nei muschi riferibili alla discarica di Rio Riazzone e Rio Vigne, variazione della concentrazione tra il valore iniziale e finale, rateo di deposizione e Fattore di Arricchimento

Stazione	Tempo	(mesi)				Δ	*Rateo	F.A.
5	0	6	12	18	24	positivo	deposiz.	
<i>elem</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>			<i>g/ha/anno</i>	
Al	2550	4600	4500	5400	2800	250		
Fe	1260	3500	520	2600	1000			
As	1	0.2	0.2	1	1.4	0.4	2	2
Bi	0.1	0.05	0.05	0.06	0.1			
Cd	0.4	0.2	0.1	0.3	0.5	0.1	0.2	32
Co	1	1	1.4	2.3	0.9			
Cr	6	18	11	10	10	4	0.76	0.9
Cu	16	15	13	17	19	3	0.62	2.3
Hg	0.15	0.10	0.08	0.12	0.11			
Mn	42	54	26	43	61	19	46.4	1
Mo	0.5	0.2	0.3	1	1	0.5	4.4	28
Ni	4	7	4	11	9	5	11.2	1.8
Pb	15	7	10	9	11			
Sb	0.3	0.8	0.3	0.6	0.3			
Sc	1	2	0.9	0.8	0.7			
Ti	57	66	71	63	50			
Tl	0.1	0.05	0.04	0.04	0.08			
V	4	5	2	8	7	3	5.8	2.4
Zn	70	56	52	54	62			

**Il rateo di deposizione è stato calcolato solo per gli incrementi positivi delle concentrazioni osservate tra il valore iniziale e dopo 24 mesi*

Tabella 9. Stazione 6: andamento nel tempo della concentrazione degli elementi analizzati nei muschi, variazione della concentrazione tra il valore iniziale e finale, riferibili alla discarica di Rio Riazzone e Rio Vigne. Il campionamento al 24° mese non è stato effettuato a seguito del danneggiamento della stazione per cause meteorologiche

Stazione 6	Tempo 0	(mesi) 6	12	18	Δ positivo
<i>elem</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	
Al	3400	3500	2800	4600	1200
Fe	940	1500	780	1900	960
As	0.4	0.2	0.3	1	0.6
Bi	0.03	0.02	0.03	0.04	0.01
Cd	0.3	0.2	0.2	0.4	0.1
Co	0.5	0.5	0.6	1	0.5
Cr	5	7	6	11	6
Cu	14	16	14	17	3
Hg	0.14	0.10	0.10	0.17	0.03
Mn	40	38	53	47	7
Mo	0.3	0.1	0.4	0.3	
Ni	3	5	5	7	4
Pb	12	4	8	11	
Sb	0.3	0.6	0.2	0.4	0.1
Sc	0.9	1.3	0.9	0.4	
Ti	31	25	25	11	
Tl	0.03	0.02	0.03	0.02	
V	2	3	3	6	4
Zn	76	92	83	75	

Tabella 10. Stazione 7: andamento nel tempo della concentrazione degli elementi analizzati nei muschi riferibili alla discarica di Rio Riazzone e Rio Vigne, variazione della concentrazione tra il valore iniziale e finale, rateo di deposizione e Fattore di Arricchimento

Stazione	Tempo	(mesi)				Δ	*Rateo	F.A.
7	0	6	12	18	24	positivo	deposiz.	
<i>elem</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>			<i>g/ha/anno</i>	
Al	4100	5500	4100	5600	4700	600		
Fe	1200	4300	1200	2900	1300	100		
As	0.4	0.4	0.5	1	0.7	0.3	1.5	7.2
Bi	0.03	0.03	0.04	0.07	0.1	0.07	0.18	3
Cd	0.3	0.5	0.9	0.6	0.7	0.4	0.82	23
Co	0.6	1.2	0.9	1.4	1.4	0.8	1.5	1.1
Cr	6	16	7	13	5			
Cu	14	21	28	21	15	1	2	0.5
Hg	0.14	0.14	0.13	0.14	0.15	0.01	0.02	2.3
Mn	44	73	80	64	43			
Mo	0.3	0.8	0.7	0.8	0.6	0.3	2.6	22.9
Ni	4	8	10	10	4			
Pb	14	26	10	10	12			
Sb	0.2	0.1	0.2	0.5	0.5	0.3	0.64	
Sc	0.9	2.8	1	1.1	0.6			
Ti	45	62	39	36	18			
Tl	0.03	0.06	0.05	0.06	0.02			
V	3	8	6	9	3			
Zn	74	132	128	122	89	15	37.4	1.8

**Il rateo di deposizione è stato calcolato solo per gli incrementi positivi delle concentrazioni osservate tra il valore iniziale e dopo 24 mesi*

Tabella 11. Stazione 8: andamento nel tempo della concentrazione degli elementi analizzati nei muschi riferibili alla discarica di Rio Riazone e Rio Vigne, variazione della concentrazione tra il valore iniziale e finale, rateo di deposizione e Fattore di Arricchimento

Stazione	Tempo	(mesi)				Δ	*Rateo	F.A.
8	0	6	12	18	24	positivo	deposiz.	
<i>elem</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>			<i>g/ha/anno</i>	
Al	3400	5000	6500	7100	5500	2100		
Fe	980	5000	2600	1000	1100	120		
As	0.2	0.4	0.8	1	0.9	0.7	3.6	11
Bi	0.03	0.06	0.1	0.15	0.06	0.03	0.07	1
Cd	0.3	0.3	1	0.5	0.5	0.2	0.42	34
Co	0.5	1.5	0.9	1.8	1.7	1.2	2.2	0.1
Cr	13	11	12	22	8			
Cu	12	20	22	30	28	16	33.9	8.8
Hg	0.14	0.12	0.12	0.11	0.10			
Mn	41	109	151	143	68	27	67.5	0.7
Mo	0.3	0.4	0.6	1	0.8	0.5	4.5	28
Ni	3	10	10	18	8	5	11.1	1.5
Pb	13	16	13	14	12			
Sb	0.3	0.5	0.2	0.5	0.5	0.2	4.5	1.1
Sc	0.6	2.7	1.1	2.3	0.7	0.1	8.9	0.2
Ti	32	45	76	92	31			
Tl	0.03	0.05	0.08	0.08	0.02			
V	2	8	11	20	6	4	7.7	0.8
Zn	58	94	90	101	81	23	57.5	3.7

**Il rateo di deposizione è stato calcolato solo per gli incrementi positivi delle concentrazioni osservate tra il valore iniziale e dopo 24 mesi*

Tabella 12. Stazione 9: andamento nel tempo della concentrazione degli elementi analizzati nei muschi riferibili alla discarica di Rio Riazone e Rio Vigne, variazione della concentrazione tra il valore iniziale e finale, rateo di deposizione e Fattore di Arricchimento

Stazione	Tempo	(mesi)				Δ	*Rateo	F.A.
9	0	6	12	18	24	positivo	deposiz.	
<i>elem</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>			<i>g/ha/anno</i>	
Al	2100	3600	2800	2600	2500	400		
Fe	1340	3000	1100	1500	1100			
As	0.3	0.9	0.5	1.2	1.2	0.9	4.7	3.4
Bi	0.05	0.07	0.05	0.1	0.06	0.01	0.02	0.7
Cd	0.5	0.4	1	0.6	0.7	0.2	0.41	53
Co	0.7	1.4	0.7	1.2	1	0.3	0.57	0.9
Cr	5	15	8	12	12	7	8.7	2.3
Cu	15	26	21	31	19	4	8.4	49
Hg	0.15	0.14	0.13	0.14	0.1			
Mn	50	104	53	149	92	42	105	3.1
Mo	0.5	0.8	0.7	1.1	0.9	0.4	3.6	46
Ni	3	9	6	10	10	7	15.6	4
Pb	13	19	14	10	13			
Sb	0.3	0.6	0.3	0.5	0.2			
Sc	1	3	1	1.5	1.1	0.1	0.14	0.5
Ti	46	98	30	38	46			
Tl	0.04	0.07	0.04	0.04	0.02			
V	8	10	5	17	9	1	1.9	0.8
Zn	81	153	77	143	133	52	13	16

**Il rateo di deposizione è stato calcolato solo per gli incrementi positivi delle concentrazioni osservate tra il valore iniziale e dopo 24 mesi*

Tabella 13. Stazione 10: andamento nel tempo della concentrazione degli elementi analizzati nei muschi riferibili alla discarica di Rio Riazzone e Rio Vigne, variazione della concentrazione tra il valore iniziale e finale, rateo di deposizione e Fattore di Arricchimento

Stazione	Tempo	(mesi)				Δ	*Rateo	F.A.
10	0	6	12	18	24	positivo	deposiz	
<i>elem</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>				
Al	2500	2400	3000	3400	2500			
Fe	1530	590	700	1600	700			
As	1.1	0.3	0.3	0.6	0.9			
Bi	0.05	0.03	0.03	0.05	0.1	0.05	0.1	3
Cd	0.4	0.3	0.6	0.4	0.5	0.1	0.25	20
Co	0.7	0.4	0.5	0.8	0.7			
Cr	6	4	8	8	4			
Cu	12	19	12	22	12			
Hg	0.12	0.08	0.07	0.09	0.07			
Mn	55	29	41	52	45			
Mo	0.4	0.3	0.4	0.8	0.5	0.1	0.9	7.6
Ni	3	3	4	6	7	4	8.9	1.8
Pb	11	5	8	9	10			
Sb	0.3	0.6	0.2	0.6	0.3			
Sc	0.8	1.4	1.3	0.6	1	0.2	0.3	1.2
Ti	62	14	21	17	23			
Tl	0.03	0.01	0.01	0.01	0.2	0.17	0.5	12.9
V	4	2	3	4	3			
Zn	61	106	106	138	83	22	55	6

**Il rateo di deposizione è stato calcolato solo per gli incrementi positivi delle concentrazioni osservate tra il valore iniziale e dopo 24 mesi*

Tabella 14. Stazione 11: andamento nel tempo della concentrazione degli elementi analizzati nei muschi riferibili alla discarica di Rio Riazone e Rio Vigne, variazione della concentrazione tra il valore iniziale e finale, rateo di deposizione e Fattore di Arricchimento

Stazione	Tempo	(mesi)				Δ	*Rateo	F.A.
11	0	6	12	18	24	positivo	deposiz	
<i>elem</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>				
Al	2100	4000	2100	3100	2900	800		
Fe	1700	1300	1300	1400	1700			
As	0.2	0.5	0.6	1	0.6	0.4	2	1.7
Bi	0.06	0.04	0.03	0.08	0.1	0.04	0.1	1.3
Cd	0.4	0.3	0.5	0.4	0.8	0.4	0.8	10
Co	0.8	0.6	0.9	0.9	1.1	0.3	0.5	0.8
Cr	5	7	8	12	13	8	1	2.8
Cu	12	23	18	26	27	15	0.14	10.7
Hg	0.13	0.14	0.14	0.14	0.13			
Mn	52	52	57	88	89	37	245	1.8
Mo	0.5	0.8	0.5	0.9	0.7	0.2	1.8	8
Ni	3	5	6	11	11	8	17.8	6.6
Pb	13	20	10	10	17	4	6.3	11
Sb	0.3	0.2	0.2	0.5	0.2			
Sc	0.6	1.7	1.5	0.9	0.7	0.1	0.14	0.5
Ti	36	49	32	21	32			
Tl	0.02	0.03	0.04	0.01	0.02			
V	4	5	5	8	12	8	15.3	3.2
Zn	64	116	98	122	150	86	215	14.5

**Il rateo di deposizione è stato calcolato solo per gli incrementi positivi delle concentrazioni osservate tra il valore iniziale e dopo 24 mesi*

Tabella 15. Stazione 12: andamento nel tempo della concentrazione degli elementi analizzati nei muschi riferibili alla discarica di Rio Riazzone e Rio Vigne, variazione della concentrazione tra il valore iniziale e finale, rateo di deposizione e Fattore di Arricchimento

Stazione	Tempo	(mesi)					Δ	*Rateo	F.A.
12	0	6	12	18	24				
<i>elem</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>					
Al	1400	1000	1000	1300	1800	400			
Fe	1040	430	600	900	700				
As	0.2	0.1	0.3	0.6	0.4	0.2	1	2	
Bi	0.05	0.05	0.02	0.08	0.07	0.02	0.05	1.6	
Cd	0.3	0.1	0.3	0.4	0.4	0.1	0.2	6.1	
Co	0.6	0.6	0.5	1	0.7	0.1	0.18	0.7	
Cr	3	3	4	6	4	1	1.2	0.9	
Cu	11	8	13	14	20	9	19	15.7	
Hg	0.13	0.08	0.11	0.10	0.10				
Mn	37	17	26	36	40	3	7.5	0.4	
Mo	0.3	0.1	0.4	0.5	0.5	0.2	1.8	19.6	
Ni	2	3	3	5	6	4	8.9	8.1	
Pb	12	13	10	8	11				
Sb	0.6	0.3	0.3	0.5	0.4				
Sc	0.2	0.7	0.6	0.5	0.7	0.5	0.7	5.4	
Ti	30	10	22	18	15				
Tl	0.03	0.01	0.03	0.01	0.02				
V	3	2	3	4	3				
Zn	74	52	72	89	96	22	55	8.6	

**Il rateo di deposizione è stato calcolato solo per gli incrementi positivi delle concentrazioni osservate tra il valore iniziale e dopo 24 mesi*

Tabella 16. Stazione 13: andamento nel tempo della concentrazione degli elementi analizzati nei muschi riferibili alla discarica di Rio Riazzone e Rio Vigne, variazione della concentrazione tra il valore iniziale e finale, rateo di deposizione e Fattore di Arricchimento

Stazione	Tempo	(mesi)				Δ	*Rateo	F.A.
13	0	6	12	18	24	positivo	deposiz	
<i>elem</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>				
Al	1200	3600	1300	1700	1900	700		
Fe	870	1500	1000	1200	890	20		
As	0.2	0.5	0.5	0.7	1	0.8	4.1	8.1
Bi	0.04	0.05	0.03	0.06	0.05	0.01	0.02	1.1
Cd	0.3	0.2	0.3	0.8	0.5	0.2	0.41	28
Co	0.5	0.7	0.7	1.3	1.5	1	1.9	5.6
Cr	4	7	5	6	7	3	3.7	1.5
Cu	13	26	11	25	15	2	0.39	4.6
Hg	0.13	0.14	0.10	0.13	0.11			
Mn	41	62	41	34	49	8	20	0.9
Mo	0.4	0.7	0.7	0.8	0.8	0.4	3.5	37
Ni	2	5	5	6	6	4	8.9	3.4
Pb	11	16	8	9	9			
Sb	0.3	0.1	0.2	0.4	0.2			
Sc	0.3	1.6	0.1	0.9	0.6	0.3	0.41	3.8
Ti	30	44	23	25	28			
Tl	0.02	0.03	0.02	0.02	0.1	0.08	0.22	14.9
V	2	5	3	3	6	4	7.7	65.
Zn	106	117	79	126	135	29	72.5	14.9

**Il rateo di deposizione è stato calcolato solo per gli incrementi positivi delle concentrazioni osservate tra il valore iniziale e dopo 24 mesi*

Tabella 17. Stazione 14: andamento nel tempo della concentrazione degli elementi analizzati nei muschi riferibili alla discarica di Rio Riazzone e Rio Vigne, variazione della concentrazione tra il valore iniziale e finale, rateo di deposizione e Fattore di Arricchimento

Stazione	Tempo	(mesi)					Δ	*Rateo	F.A.
14	0	6	*0	6	12	18	positivo	deposiz	
elem	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg			
Al	1600	900	1500	1800	2000	2100	600		
Fe	1210	200	520	590	1050	900	380		
As	0.1	0.1	0.6	0.8	1	1.2	0.6	3.1	3
Bi	0.05	0.02	0.06	0.05	0.09	0.09	0.03	0.07	2.1
Cd	0.3	0.1	0.2	0.5	0.6	0.6	0.4	0.8	42
Co	0.6	0.6	1	1	1.6	1.7	0.7	1.3	2.6
Cr	4	9	10	7	9	7			
Cu	13	9	25	25	25	14			
Hg	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11			
Mn	44	12	90	59	69	74			
Mo	0.4	0.1	0.4	0.6	0.7	0.8	0.4	3.6	34
Ni	3	2	10	7	9	7			
Pb	12	13	17	14	10	12			
Sb	0.3	0.5	0.1	0.2	0.6	0.3	0.2	0.5	42
Sc	0.3	1.3	0.3	0.1	0.5	1	0.7	0.9	5.7
Ti	31	10	78	84	89	74			
Tl	0.03	0.01	0.08	0.03	0.01	0.01			
V	3	1	12	5	7	5			
Zn	85	71	122	134	139	168	46	115	16.6

* muschio nuovo

**Il rateo di deposizione è stato calcolato solo per gli incrementi positivi delle concentrazioni osservate tra il valore iniziale e dopo 24 mesi*

Tabella 18. Stazione 15: andamento nel tempo della concentrazione degli elementi analizzati nei muschi, la variazione della concentrazione tra il valore iniziale e finale, riferibili alla discarica di Rio Riazone e Rio Vigne. Il campionamento al 24° mese non è stato effettuato a seguito del danneggiamento della stazione per cause meteorologiche

Stazione 15	Tempo 0	(mesi) 6	12	18	Δ positivo
<i>elem</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>mg/kg</i>	
Al	2900	3900	4900	4900	2000
Fe	1160	1500	3100	2200	
As	0.3	0.5	1	1.7	1.4
Bi	0.03	0.06	0.07	0.1	0.07
Cd	0.3	0.3	1	0.6	0.3
Co	0.6	1	2	2.5	1.9
Cr	6	14	17	18	12
Cu	13	31	19	33	20
Hg	0.13	0.16	0.10	0.11	
Mn	45	81	120	160	115
Mo	0.4	0.6	0.5	1.1	0.7
Ni	3	8	14	23	20
Pb	13	24	8	12	
Sb	0.3	0.2	0.1	0.2	
Sc	0.6	2	2	3	2.4
Ti	44	53	69	84	40
Tl	0.03	0.05	0.08	0.08	0.05
V	3	7	13	17	14
Zn	71	122	144	151	80

Risultati e discussione

La precisione del dato analitico e il recupero percentuale degli elementi analizzati, dopo i trattamenti di mineralizzazione, sono stati confermati utilizzando, in modo continuativo durante il trattamento e l'analisi dei campioni, materiali standard certificati che avevano una matrice simile a quella dei campioni di suolo e di muschio. I valori ottenuti sono riportati nelle tabelle 1, 2, 20, 21 e 22.

Suoli

La tabella 1 riporta i valori di concentrazione nei suoli raccolti nelle tre discariche per i macro-elementi (Si, Al, Ca, K, Fe, Mg, Na, e Ti) in forma di ossidi, due nutrienti quali P e S e i valori di concentrazione ottenuti analizzando lo standard CRM 280.

La distribuzione spaziale della concentrazione degli elementi As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e V, nelle discariche di Rio Vigne e Rio Riazzone, è illustrata nelle figure 7a-14a. Per quanto riguarda la distribuzione spaziale della concentrazione dell'elemento As, valori superiori a 7.5 mg/kg si osservano in una ridotta area situata in direzione Nord-Ovest rispetto al corpo della discarica.

Come per l'As, anche l'elemento Cd registra i valori più elevati nella medesima area, inoltre valori elevati si riscontrano in una ridotta area posta al centro della discarica. Nella restante parte dell'area indagata i valori sono risultati più ridotti.

Per il Cr solo una ridotta area localizzata a Nord-Est della discarica presenta valori inferiori a 90 mg/kg, la restante area è interessata da valori superiori a 100 mg/kg.

Il Cu vede concentrazioni superiori a 60 mg/kg solo nella parte Est del corpo della discarica, nelle restanti aree la distribuzione della concentrazione è risultata alquanto monotona.

Il Hg presenta valori più elevati nell'area centro Sud del corpo della discarica, la medesima area è interessata anche dall'elemento Cd.

Per quanto concerne il Ni, solo una ridotta area situata a Sud-Est della discarica, evidenzia valori superiori a 110 mg/kg. In circa la metà dell'area interessata dalla discarica si osservano valori inferiori a 70 mg/kg.

Per l'elemento Pb la distribuzione spaziale della concentrazione è alquanto uniforme su tutto il territorio interessato dalla discarica.

L'elemento V evidenzia i valori più elevati (concentrazione maggiore di 80 mg/kg) in due ridotte aree localizzate nel centro-Est del corpo della discarica.

Nell'insieme i valori di concentrazione riscontrati non destano alcuna preoccupazione in quanto non si osservano valori particolarmente elevati. Valori simili si riscontrano in aree con la presenza di suoli argillosi (Cenci *et al.*, 2003).

I valori di concentrazione dei metalli pesanti (tabella 2), una parte di essi è stata raffrontata con i valori riportati nel Decreto Ministeriale n. 471 del 1999 per la bonifica dei siti contaminati, tabella A riferibile a siti per uso verde pubblico, privato e residenziale (Italia, 1999). Anche per la tabella 2 sono riportati i valori ottenuti analizzando 2 campioni minerali standards: CRM 280 e NIST 2711

Tutti i valori di concentrazione, riscontrati nei 15 campioni di suolo e presenti nella tabella A del D.M. n. 471, sono risultati inferiori ai limiti tabellari. Fa eccezione il Cu nella stazione 6 relativa al suolo raccolto nella discarica di Rio Vigne il cui valore è risultato pari a 149 mg/kg (valore tabellare 120 mg/kg) e nella stazione 4 per

l'elemento Zn, relativo alla discarica di Poiatica. Occorre segnalare che per quest'ultima stazione il valore dello Zn, supera di soli 4 mg/kg il valore tabellare (150 mg/kg).

I campioni di suolo raccolti in aree esterne alla discarica, si sovrappongono a quanto riscontrato nei suoli della discarica, essi riflettono, per i macro elementi e gli metalli pesanti, concentrazioni tipiche di suoli argillosi.

Muschi “area vasta”

Nella tabella 3 sono riportati i valori di concentrazione di tutti gli elementi riscontrati raccogliendo campioni che erano rimasti dal precedente studio di monitoraggio effettuato nella discarica di Poiatica (*numero* prec. esper.), muschi indigeni raccolti nelle tre discariche, Poiatica, Rio Riazzone e Rio Vigne (* *numero* ind) e in aree esterne al corpo stesso delle discariche definita “area vasta” (*, **, ***).

Le concentrazioni riscontrate sono tipiche di aree a ridotta pressione antropica (Cenci *et al.*, 2003) e i valori nel loro insieme non evidenziano particolari variazioni di concentrazione.

Occorre segnalare valori più elevati per la stazione 4 di Poiatica per Hg e V e le stazioni 1, 3 e 4 (Poiatica) per gli elementi Bi, Co, Ni, Sc, Ti, Tl, V e le stazioni numero 6 e 7 di Rio Riazzone e Rio Vigne per il solo Hg.

In queste stazioni i valori osservati sono apparsi più elevati se raffrontati ai restanti valori di concentrazione ottenuti nello studio. I risultati, in ogni caso, non indicano particolari contaminazioni dovute ad importanti attività antropiche puntiformi e/o diffuse.

Le motivazioni che hanno portato ad ottenere tali valori non sono facilmente spiegabili, comunque considerando i valori osservati nel loro insieme, essi sono sovrapponibili a quanto riscontrato nei campioni raccolti nell’“area vasta” e non destano alcuna preoccupazioni, ma riflettono e sono raffrontabili a quei valori di concentrazione comunemente osservati in aree a ridotta pressione antropica o presenti in parchi naturali.

Nella tabella 3a sono riportati i ratei di deposizioni (g/ha/anno) calcolati per alcune stazioni inerenti l’“area vasta”, tali valori sono stati ottenuti utilizzando la seguente formula di RÜling (1994)

Conc. Elem. / Tempo (anni) x Fat. di Effic. x Ceff. RÜling

Concentrazione elemento (mg/kg)

Tempo coperto dai caulidi (anni)

Fattore di Efficienza dei muschi (%)

Fattore di RÜling $\cong 4$

I valori ottenuti evidenziano una ridotta ricaduta al suolo per tutti gli elementi indagati, il raffronto con aree antropizzate e intere regioni pone l’“area vasta” in una situazione di assoluta tranquillità.

Il calcolo del Fattore di Arricchimento (F.A.) per l’identificazione dell’origine delle ricadute al suolo è stato effettuato utilizzando l’alluminio quale l’elemento conservativo. La “normalizzazione” dei valori di concentrazione dei metalli pesanti nei suoli e nei muschi (Olmez *et al.*, 1985 Bargagli, *et al.*, 1994) può consentire di discriminare l’apporto antropico da quello naturale.

Tale approccio permette quindi di ottenere il Fattore di Arricchimento (F.A.): se esso è superiore a 15, le concentrazioni riscontrate nei muschi possono essere causate da attività antropiche o eventi naturali (attività vulcanica, incendi boschivi ecc.), se F.A è inferiore a 5 significa che c'è una origine prevalente dal suolo. Tra 5 e 15, suolo e attività antropiche concorrono nelle stesse misure.

Per il calcolo del F.A. è stata utilizzata la seguente formula:

$$\text{Elem muschio} / \text{Al muschio} \times \text{Al suolo} / \text{Elem suolo}$$

I valori di concentrazione sono espressi in mg/kg

Muschi nelle tre discariche

I valori di concentrazione degli elementi indagati, gli incrementi di concentrazione, i ratei di deposizione e i Fattori di Arricchimento sono riportati nella tabelle da 4 a 18.

La distribuzione spaziale della concentrazione di As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e V è illustrata nelle figure 7b-14c.

In tre delle quindici stazioni il monitoraggio non è stato portato a termine per il periodo previsto di 24 mesi. Dopo 6 mesi, per esigenze di spazio da parte di AGAC, la stazione 3 di Poiatica è stata eliminata. Le stazioni numero 6 e 15, localizzate nelle discariche di Rio Vigne e Rio Riazone, a seguito di condizioni meteorologiche sfavorevoli, hanno subito un danneggiamento che non ha permesso di effettuare la raccolta dei muschi relativa all'ultimo periodo.

I risultati ottenuti mostrano per la stazione 3, rimasta "attiva" per un periodo di tempo pari a 6 mesi, una assenza di aumento di concentrazione per tutti gli elementi indagati. Gli incrementi di concentrazioni di Co, Cr e Cu non sono significativi, l'aumento è compreso in un intervallo tra 10-20% del valore iniziale di concentrazione. Tali valori non possono essere imputati quali aumenti poiché ricadono all'interno dei Coefficienti di Variazione per i muschi (Cenci, 1999).

La mancanza dell'aumento di concentrazione è da ricercarsi nel ridotto tempo di esposizione (sei mesi) dei muschi per un'area che immette nell'ambiente esigue quantità di elementi.

Per le stazioni 6 e 15 il tempo di permanenza è stato di 18 mesi durante i quali sono stati osservati aumenti di concentrazione nei muschi degli elementi indagati. La stazione 6, posizionata a circa 300 metri a Ovest dai margini del corpo attivo della discarica, ha avuto incrementi contenuti per quasi tutti gli elementi. La lontananza dal corpo della discarica ha avuto come conseguenza una minor entità delle emissioni dovute ai mezzi meccanici che trasportano e mettono a dimora i rifiuti.

La stazione 15 si trova nel corpo della discarica, gli aumenti di concentrazione sono stati più marcati se raffrontati alla stazione 6, essi riflettono e risentono maggiormente del traffico dei mezzi pesanti adibiti al trasporto e alla messa a dimora dei rifiuti.

I valori osservati dopo 18 mesi sono sovrapponibili a quanto si riscontra in aree a ridotta pressione antropica (Dabergami e Cenci, 2002).

Discussione per gli elementi analizzati in ciascuna stazione

Stazione 1. Complessivamente nei 24 mesi di controllo per la discarica di Poiatica, non si sono registrati aumenti “importanti” di concentrazione per tutti gli elementi indagati, occorre segnalare l’elemento Cu che nei periodi centrali di controllo ha avuto un aumento più marcato. Complessivamente solo 5 elementi hanno registrato un incremento di concentrazione, il raffronto viene fatto per tutti gli elementi, in tutte le stazioni, considerando il primo campionamento e l’ultimo.

I ratei di deposizione sono risultati alquanto contenuti e l’origine non è imputabile alle attività antropiche ma al substrato/suolo.

Stazione 2. Si è osservata una costanza generale nel periodo di controllo dei valori di concentrazione. Per alcuni elementi (Bi, Mn, Pb, Sc, Ti, Tl e V) i valori iniziali sono stati i più elevati durante i 24 mesi di monitoraggio. Anche per la stazione 2, solo 5 elementi hanno registrato un aumento nella concentrazione, aumenti che hanno permesso di stimare un moderato flusso di deposizione.

Solo per l’elemento Cd, con un F.A. pari a 23, l’origine è imputabile alle attività umane.

Stazione 4. Anche nella stazione 4 di Poiatica non si sono registrate variazioni importanti nella concentrazione degli elementi indagati durante il periodo di monitoraggio. Per V e Zn sono stati osservati valori iniziali più elevati, sette elementi hanno avuto un incremento di concentrazioni che ha portato a stimare un rateo di deposizione compreso tra 0.4 (Cd) e 18 g/ha/anno (Mn).

L’origine delle deposizioni per il Cd sono da imputare alle attività umane, mentre per l’elemento Hg, attività antropiche e suolo/substrato concorrono nel determinare l’origine.

Stazione 5. Dalla stazione 5 in poi i valori riscontrati sono relativi alle due discariche di Rio Vigne e Rio Riazzone. Durante i 24 mesi di osservazione i valori di concentrazione per tutti gli elementi indagati sono rimasti pressoché costanti. Per 8 elementi sono stati registrati incrementi nella concentrazioni riferibili all’ultimo campionamento rispetto al primo. L’aumento più significativo si è avuto per il Ni che è passato da 4 a 9 mg/kg in 24 mesi. Gli incrementi di concentrazioni nel loro insieme sono comunque alquanto esigui ed hanno portato ad un rateo di deposizione compreso tra 0.2 (Cd) e 11.2 g/ha/anno per il Ni.

L’origine di Cd e Mo è dovuta alle attività umane, i restanti elementi sono direttamente influenzati dal suolo/substrato.

Stazione 7. Complessivamente non si devono segnalare particolari aumenti di concentrazione avvenuti durante il periodo di controllo. I campionamenti, effettuati dopo 12 mesi e in particolare dopo 18 mesi, presentano valori più elevati. Complessivamente per 9 elementi sono aumentati i valori di concentrazione che hanno permesso di quantificare i rispettivi ratei di deposizione. Questi ultimi sono risultati alquanto modesti, il solo elemento Zn presenta un rateo di deposizione pari a 37,4 g/ha/anno.

L’origine degli elementi è risultata essere influenzata dalle attività dell’uomo per Cd e Sb mentre per l’elemento Mo l’origine è duplice, antropica e derivante dal suolo/substrato.

Stazione 8. Gli andamenti di concentrazione nei muschi riferiti alla stazione 8 sono più marcati di quanto osservato nelle precedenti stazioni. In particolare i valori riferibili ai campionamenti dopo 12 e 18 mesi illustrano i valori più elevati. Buona

parte degli elementi ha un incremento positivo nella concentrazione, mediante tale incremento è stato calcolato il rateo di deposizione per ciascun elemento. I valori sono compresi tra 0.07 per il Bi e 67.5 g/ha/anno per il Mn.

L'origine di Cr e Mn è risultata imputabile alle attività dell'uomo, per As e Cu il suolo/substrato e le attività antropiche concorrono parimenti nell'influenzare l'origine, mentre per i restanti elementi l'origine è imputabile al solo suolo/substrato.

Stazione 9. Buona parte degli elementi presenta un incremento di concentrazione nell'ultimo campionamento, occorre puntualizzare che gli incrementi di concentrazione sono in ogni modo contenuti e simili a quelli che si possono riscontrare in aree a ridotta antropizzazione. Il rateo di deposizione più elevato è riferibile al Mn con 105 g/ha/anno.

Per quattro elementi e precisamente Cd, Cu, Mn e Zn la loro origine è imputabile alle attività dell'uomo, mentre i restanti elementi l'origine è dovuta al suolo/substrato.

Stazione 10. Non si registrano incrementi di concentrazione particolari, solo in alcuni casi le variazioni temporali di concentrazione sono più pronunciate, ma nel complesso i valori di concentrazione possono essere considerati costanti. Tre elementi e precisamente Bi, Ni e Sc hanno una origine dovuta al suolo/substrato. Per Mo, Tl e Zn il suolo/substrato e le attività antropiche concorrono nel determinare l'origine, mentre solo il Cd ha una origine antropica.

I ratei di deposizione sono risultati alquanto contenuti e sono compresi tra 0.25 per il Bi e 55 g/ha/anno per lo Zn.

Stazione 11. Questa stazione è stata posizionata nell'area esterna al recinto della discarica, i valori di concentrazione sono risultati simili a quanto riscontrato nelle altre stazioni e non si osservano variazioni importanti nella concentrazione degli elementi indagati, fatta eccezione per As, Cr, Cu, Ni, V e Zn i cui valori riflettono comunque situazioni di ridotta pressione antropica.

L'origine degli elementi è prevalentemente imputabile al suolo/substrato mentre per Cd, Cu, Ni e Zn può essere considerata mista.

I ratei di deposizione sono risultati modesti per tutti gli elementi fatta eccezione per Mn e Zn.

Stazione 12. Le variazioni temporali nella concentrazione degli elementi indagati sono risultate modeste, si può osservare per gli elementi As, Cr e Ni fluttuazioni più pronunciate. Nel complesso i valori di concentrazione sono riferibili a quanto si osserva in aree a ridotta pressione antropica, come pure i ratei di deposizione degli elementi valutati utilizzando l'incremento di concentrazione tra il primo e l'ultimo monitoraggio. I ratei di deposizione sono compresi tra 0.05 per il Bi e 55 g/ha/anno per lo Zn.

L'origine è risultata antropica per Mo e Cu, mentre per i restanti elementi si osserva una buona prevalenza per il suolo/substrato e mista (antropica e suolo/substrato).

Stazione 13. I campionamenti avvenuti dopo 18 e 24 mesi hanno visto variazioni più pronunciate nella concentrazione degli elementi indagati, come pure una variazione importante è stata osservata per l'elemento Sc dopo 6 mesi dal posizionamento dei muschi. I ratei di deposizione calcolati risultano comunque ridotti come per tutte le altre stazioni, essi sono compresi tra 0.02 per l'elemento Bi e 72.5 g/ha/anno per lo Zn.

L'origine degli elementi è risultata antropica per Cd e Mo, imputabile al suolo/substrato per Bi, Cr, Cu, Ni e Sc, mentre è mista per i restanti elementi.

Stazione 14. Nella stazione 14 sono stati effettuati 2 trapianti successivi, il primo ha avuto un solo campionamento dopo 6 mesi, nel secondo sono stati effettuati 3 campionamenti con frequenza semestrale che hanno coperto un periodo pari a 18 mesi. Per quanto riguarda il primo campionamento i valori di concentrazione non hanno subito particolari variazioni. Nel secondo periodo di controllo, alcuni elementi hanno registrato un aumento di concentrazione più pronunciato di altri, tra questi occorre segnalare As, Bi, Cd, Co, Sc e Zn. I ratei di deposizione sono modesti, solo lo Zn supera i 100 g/ha/anno (115), mentre il Bi presenta il valore più ridotto (0.07 g/ha/anno). Quattro sono gli elementi la cui origine è dovuta alle attività dell'uomo, essi sono: Cd, Mo, Sb e Zn. I restanti elementi hanno una origine imputabile al suolo/substrato.

Mappe di distribuzione (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e V)

Per alcuni elementi (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb e V) sono state preparate mappe di distribuzione temporale della concentrazione (figure 7a-14c) che illustrano l'andamento della concentrazione ad intervalli di tempo pari a sei mesi.

Per l'elemento As si osserva, nei periodi relativi al campionamento effettuato dopo 18 e 24 mesi, un aumento dell'area a concentrazione superiore a 1 mg/kg.

Nei periodi relativi al tempo zero e ai primi due campionamenti l'area interessata a valori di concentrazione superiore a 1 mg/kg è alquanto ridotta.

Per quanto riguarda la distribuzione spazio-temporale dell'elemento Cd si osserva, nel corpo delle due discariche, un aumento progressivo dell'area interessata a valori di concentrazione superiori a 0.5 mg/kg.

Tale andamento, se riferito all'elemento As, risulta più marcato.

Per l'elemento Cr le aree, a concentrazione maggiore a 24 mg/kg, sono alquanto ridotte, esse si "spostano" nel tempo nel corpo delle due discariche. Tale fenomeno potrebbe essere imputabile alle polveri terrigene prodotte dai veicoli utilizzati per il trasporto e la messa a dimora dei rifiuti.

L'elemento Cu registra, nei periodi di controllo relativi al sesto e diciottesimo mese, una importante area con concentrazione superiore a 15 mg/kg. Nei restanti periodi di controllo le aree impattate da tale concentrazione risultano alquanto ridotte.

La distribuzione di Hg evidenzia una riduzione dell'area interessata a concentrazioni superiori a 0.14 mg/kg sino al dodicesimo mese di controllo, dopo tale periodo l'area coinvolta dalla citata concentrazione aumenta in modo significativo.

L'elemento Ni incrementa progressivamente, durante i periodi di indagine, l'area interessata a concentrazioni superiori a 0.6 mg/kg. Tale effetto si osserva a partire dal tempo zero sino al termine del periodo di controllo.

Per l'elemento Pb, a partire dal tempo zero sino al quarto campionamento relativo al tempo 18 mesi, si osserva una riduzione dell'area interessata a concentrazioni superiori a 12 mg/kg.

A partire da tale periodo sino al termine dell'indagine si registra un incremento di estensione dell'area con valori di concentrazione superiori a 12 mg/kg.

Per quanto concerne la distribuzione di concentrazione di V, dal tempo zero sino al quarto campionamento corrispondente a 18 mesi di indagine, come osservato per il Pb, si assiste ad un aumento dell'area interessata a concentrazioni superiori a 12 mg/kg. Dopo tale periodo l'ampiezza dell'area tende a diminuire.

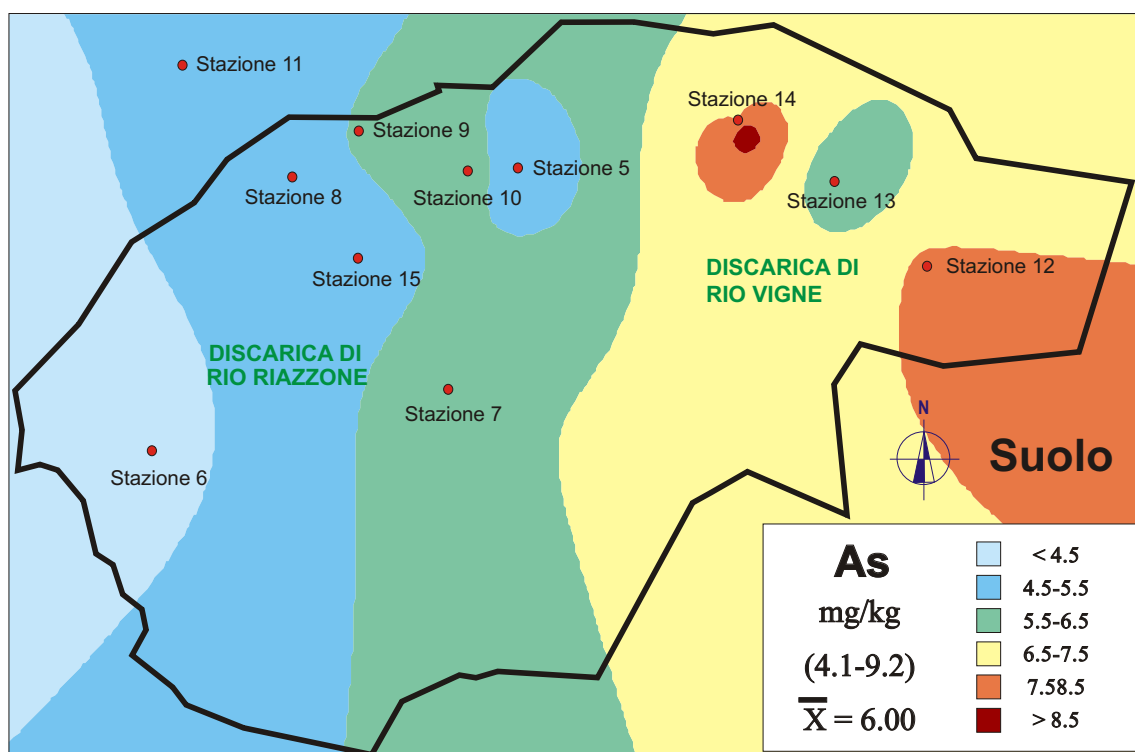


Figura 7a. Mappa di distribuzione dell'arsenico relativa al suolo

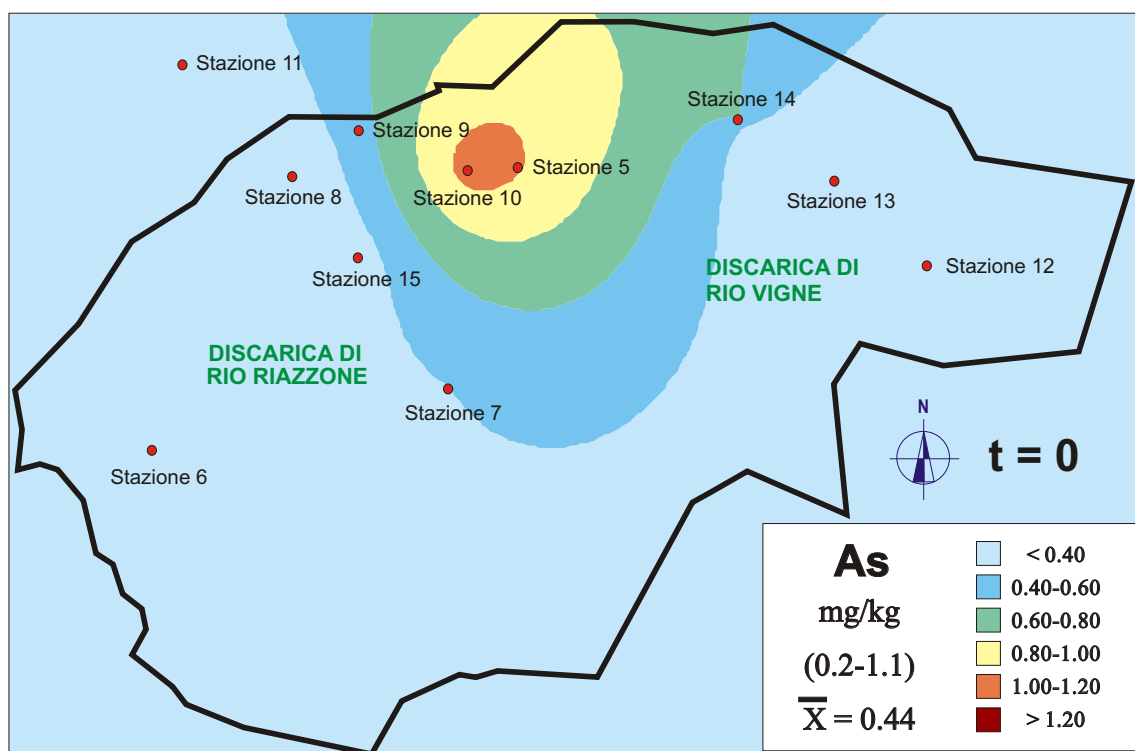


Figura 7b. Mappa di distribuzione dell'arsenico nei muschi relativa al tempo 0

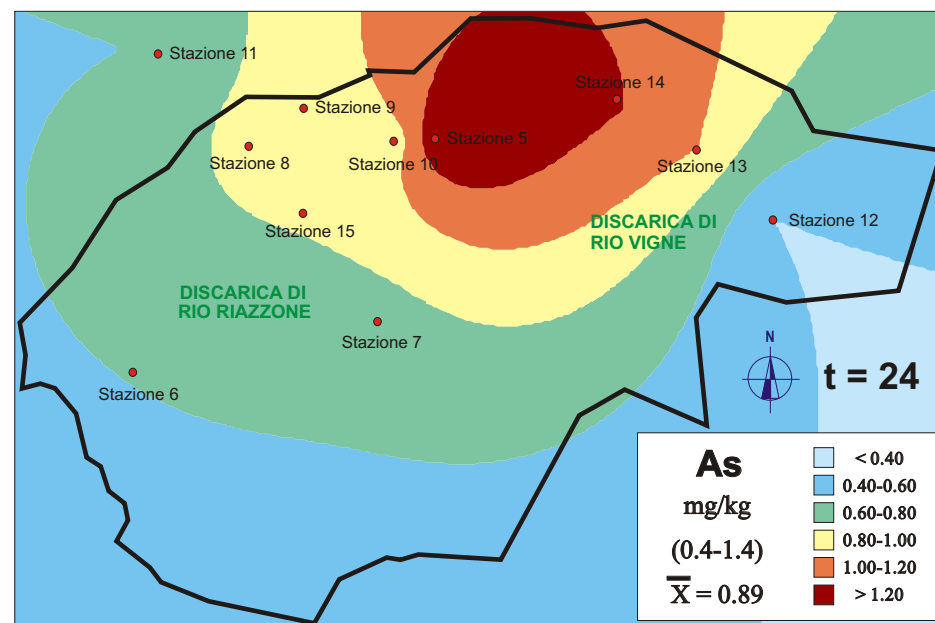
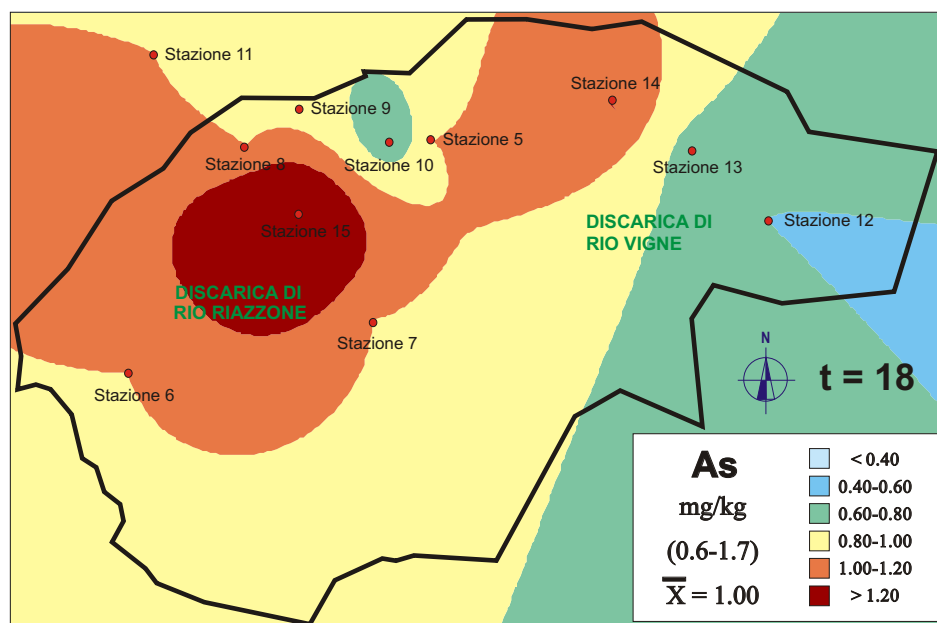
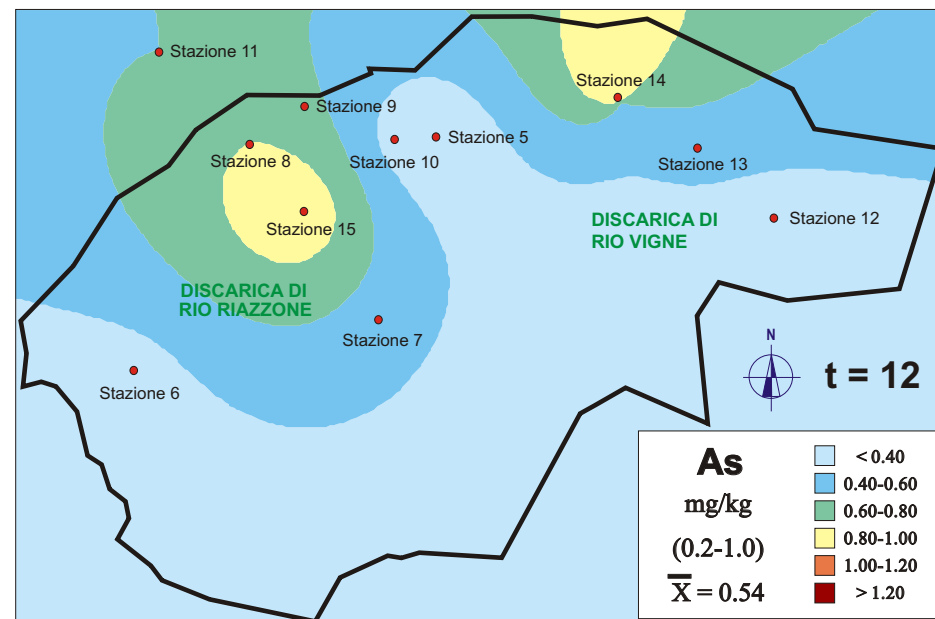
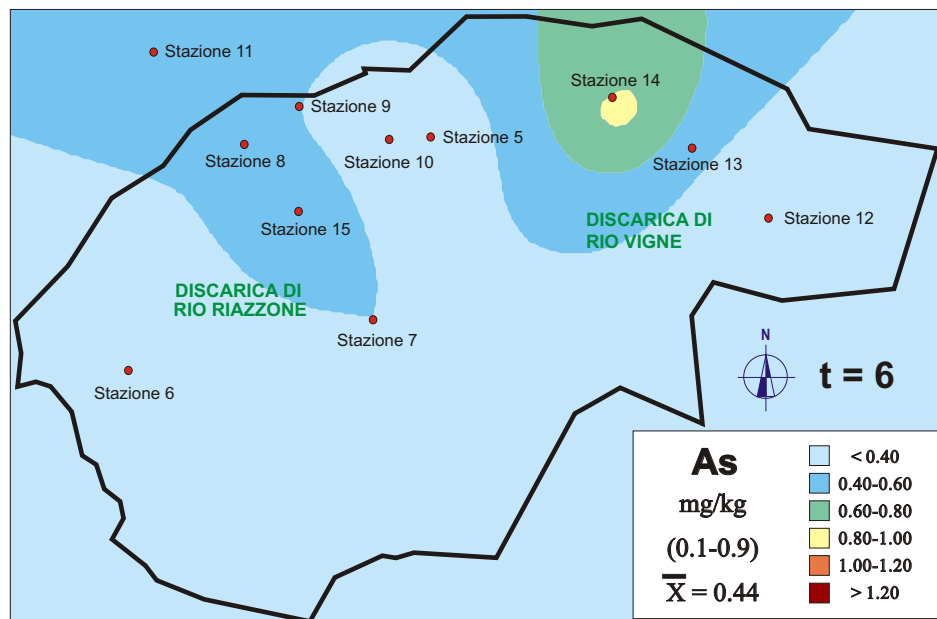


Figura 7c. Mappe di distribuzione dell'arsenico nei muschi relative al tempo 6, 12, 18 e 24 mesi

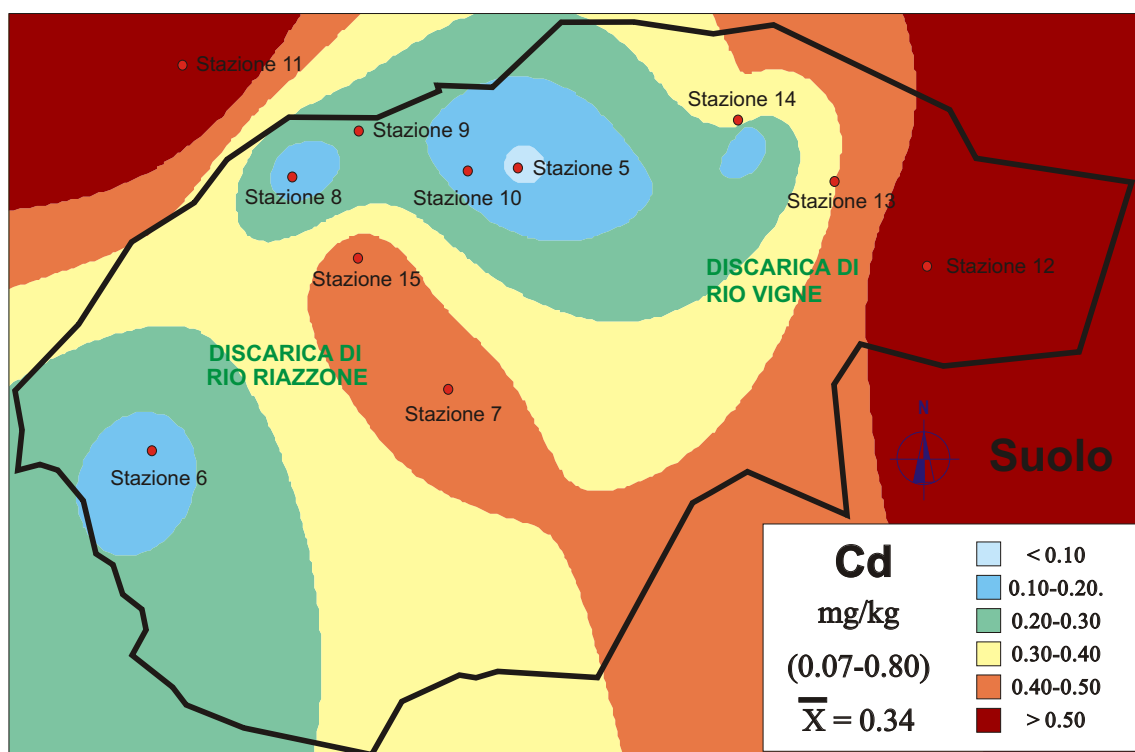


Figura 8a. Mappa di distribuzione del cadmio relativa al suolo

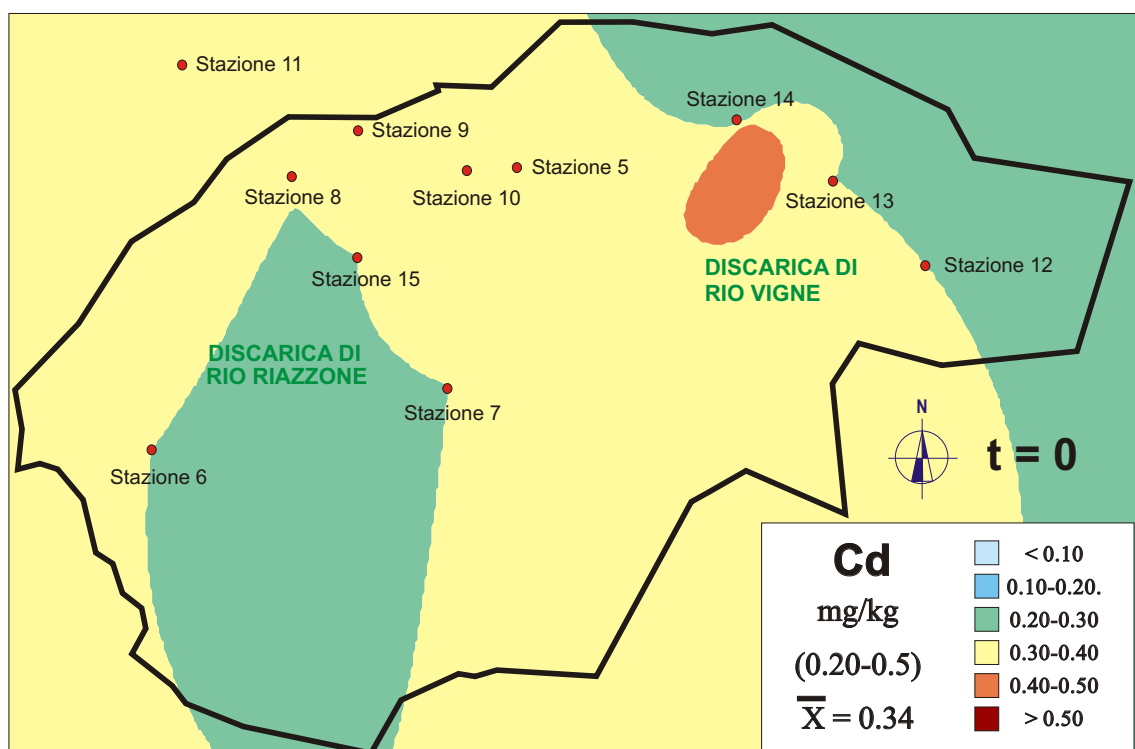


Figura 8b. Mappa di distribuzione del cadmio nei muschi relativa al tempo 0

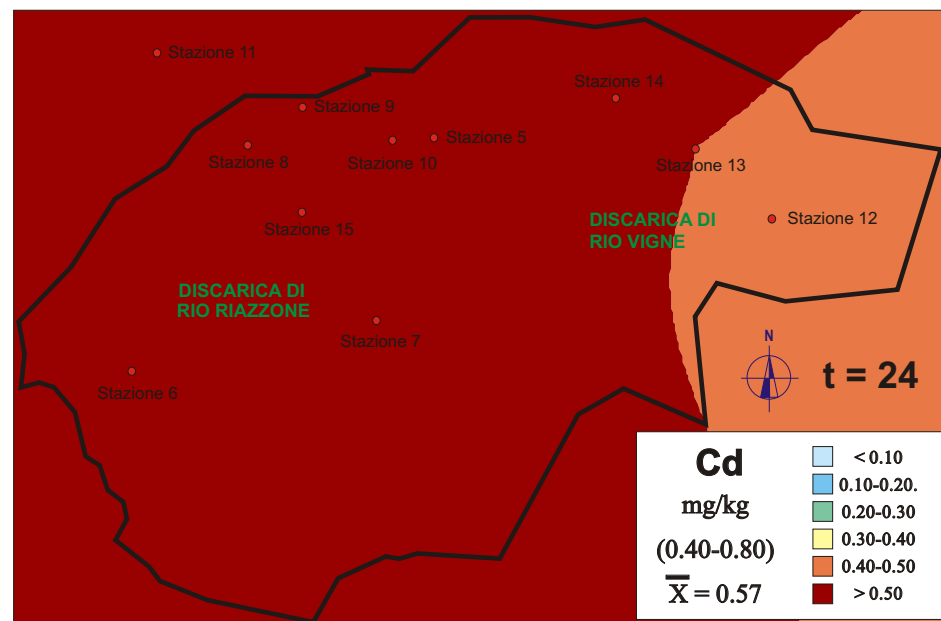
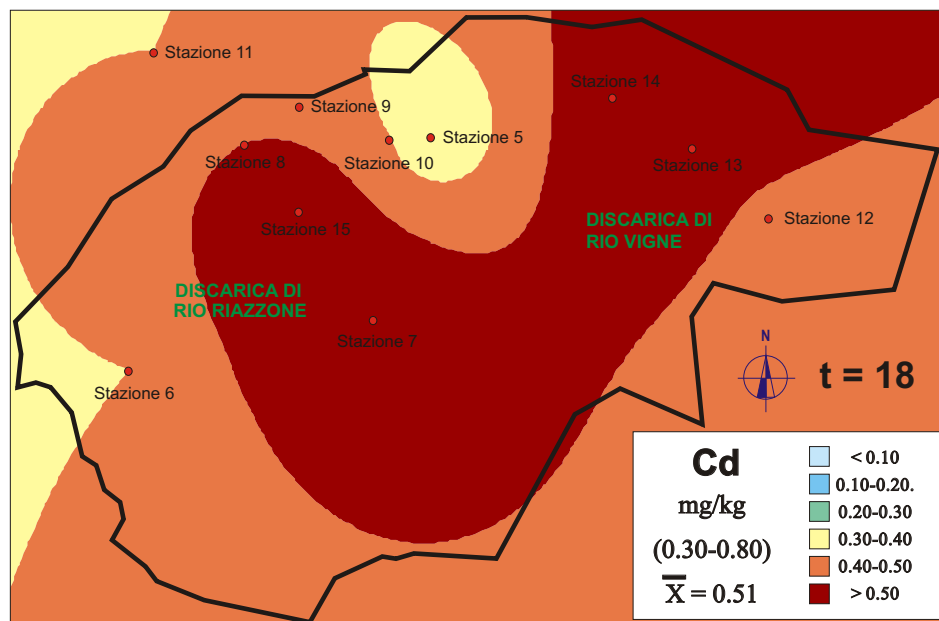
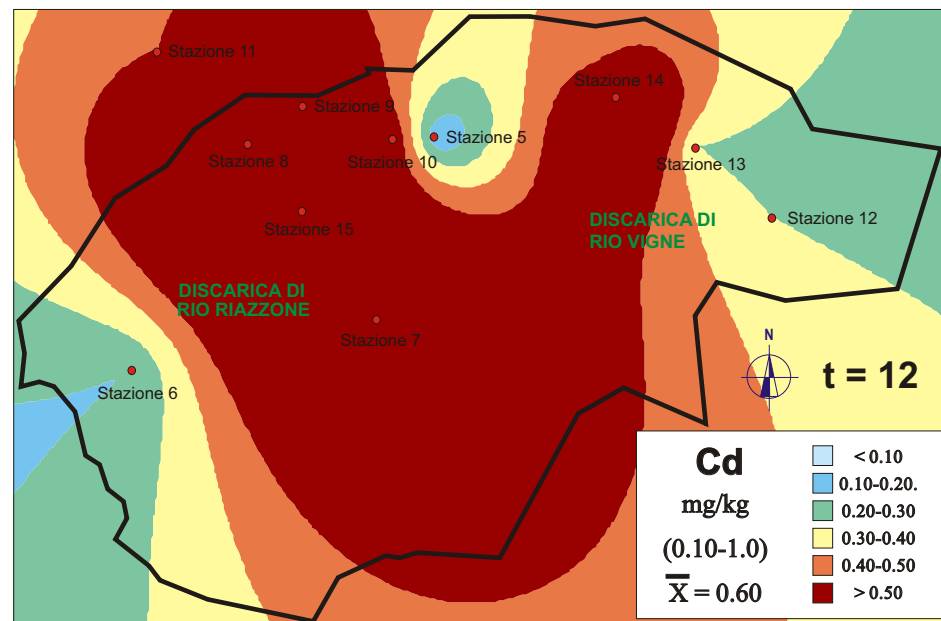
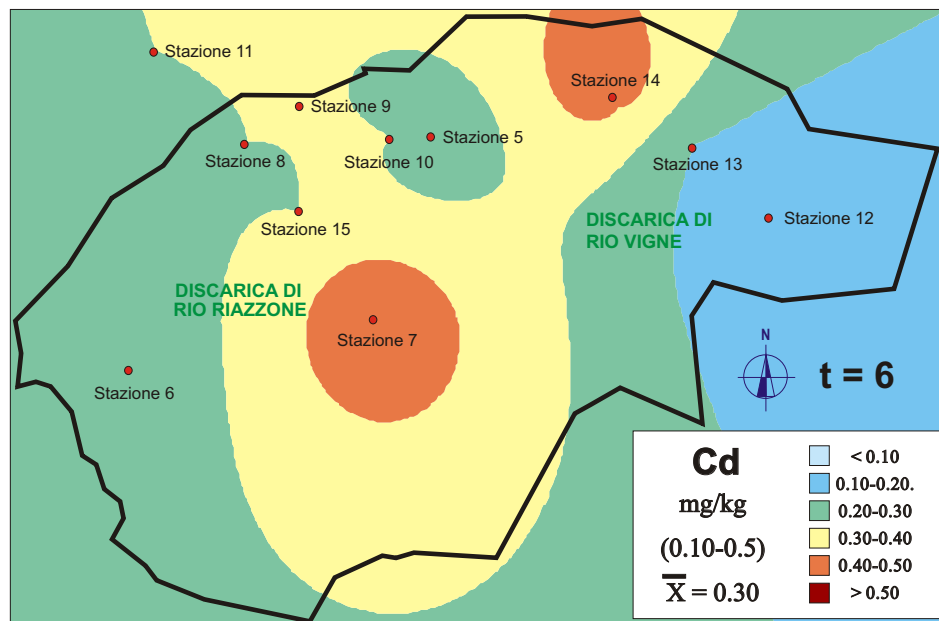


Figura 8c. Mappe di distribuzione del cadmio nei muschi relative al tempo 6, 12, 18 e 24 mesi

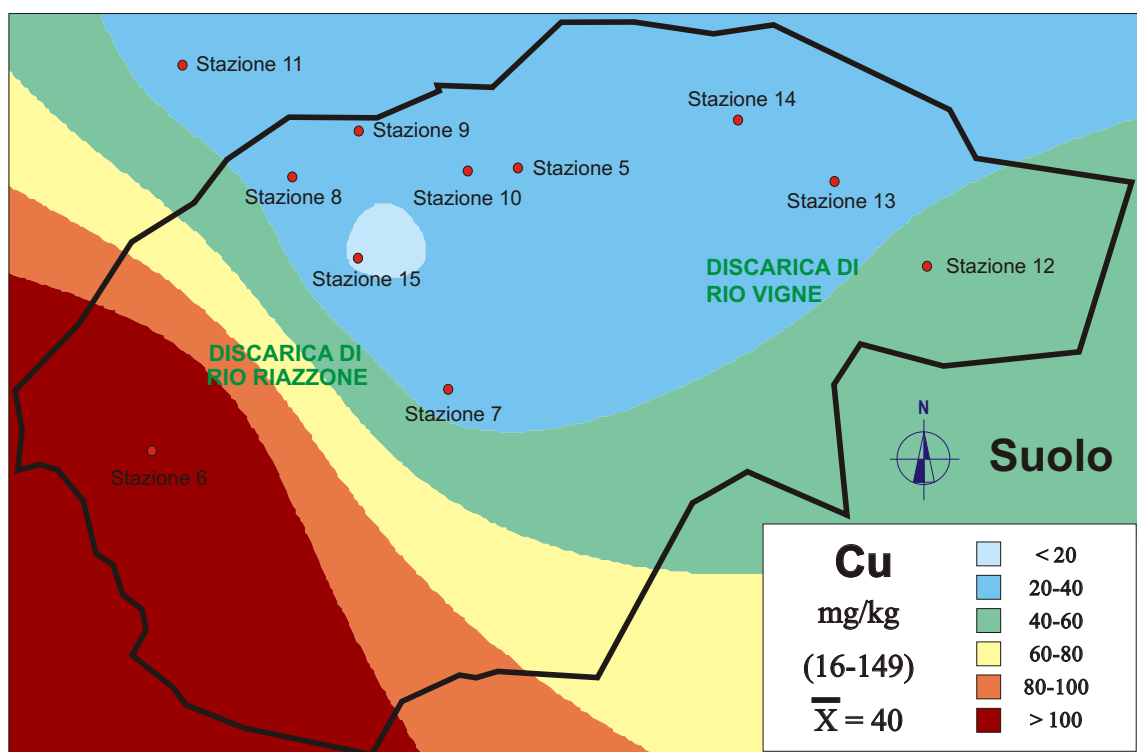


Figura 9a. Mapa di distribuzione del rame relativa al suolo

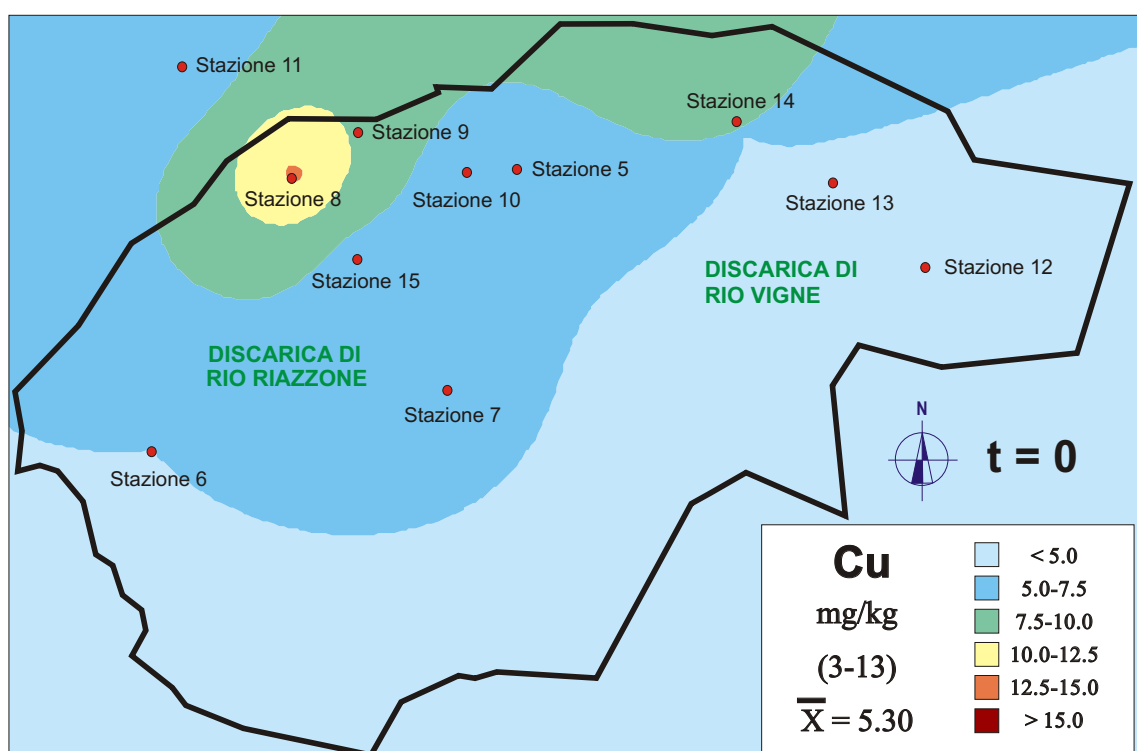


Figura 9b. Mapa di distribuzione del rame nei muschi relativa al tempo 0

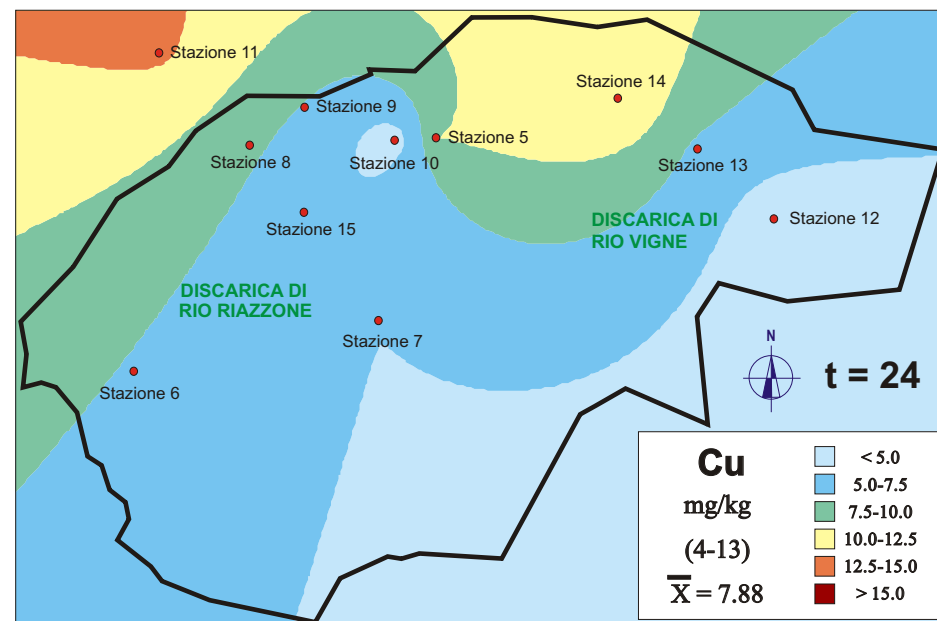
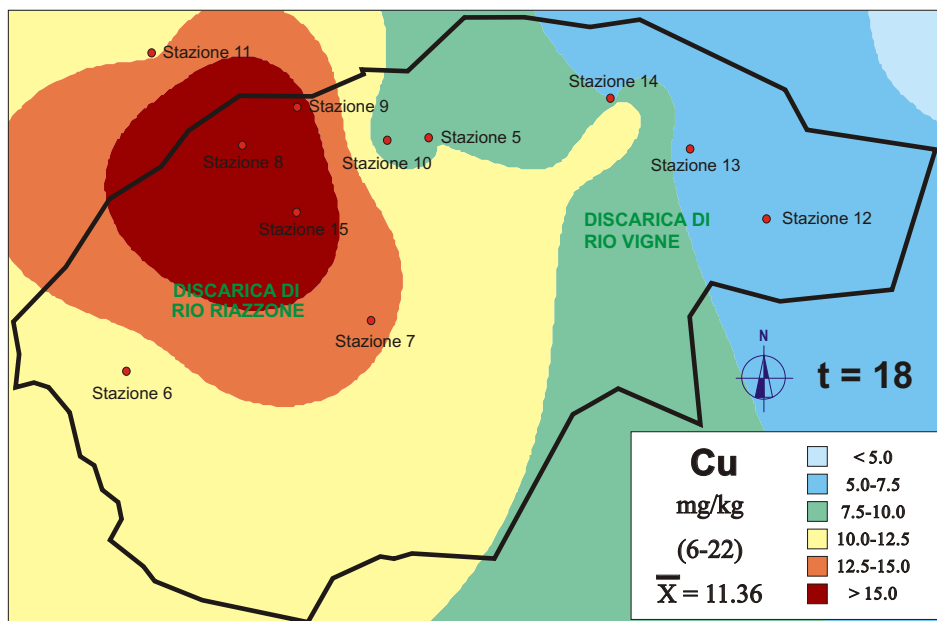
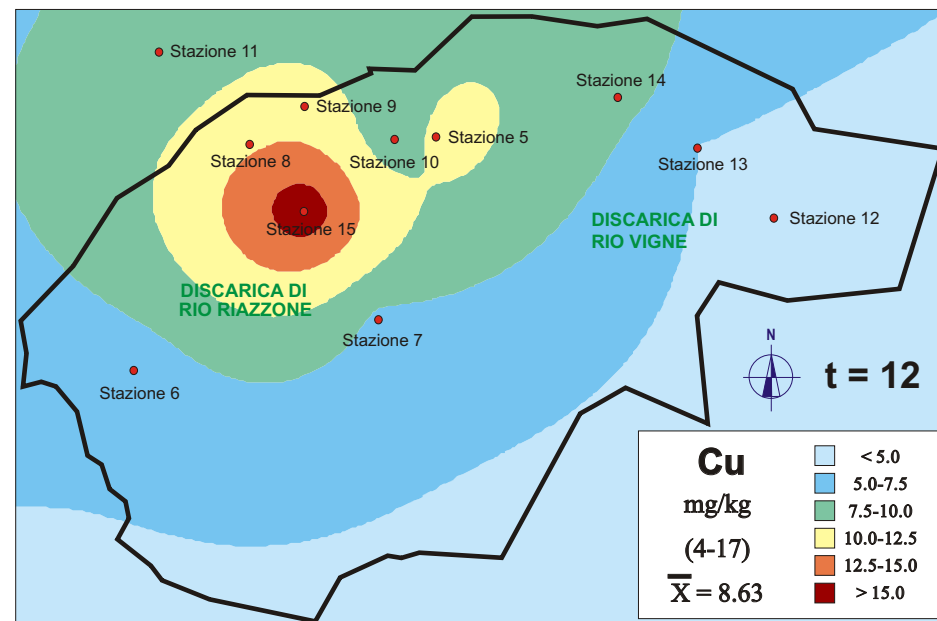
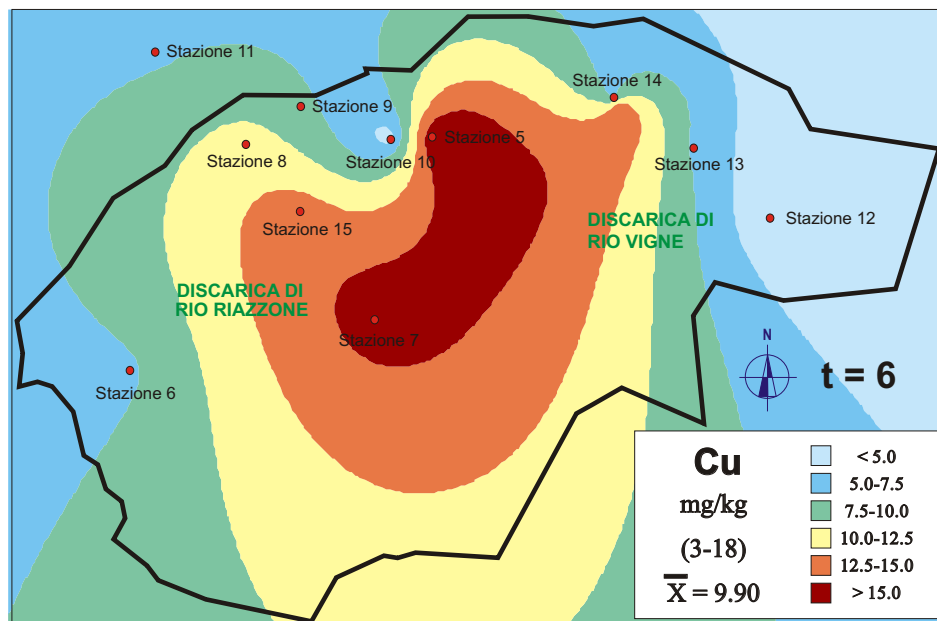


Figura 9c. Mappe di distribuzione del rame nei muschi relative al tempo 6, 12, 18 e 24 mesi

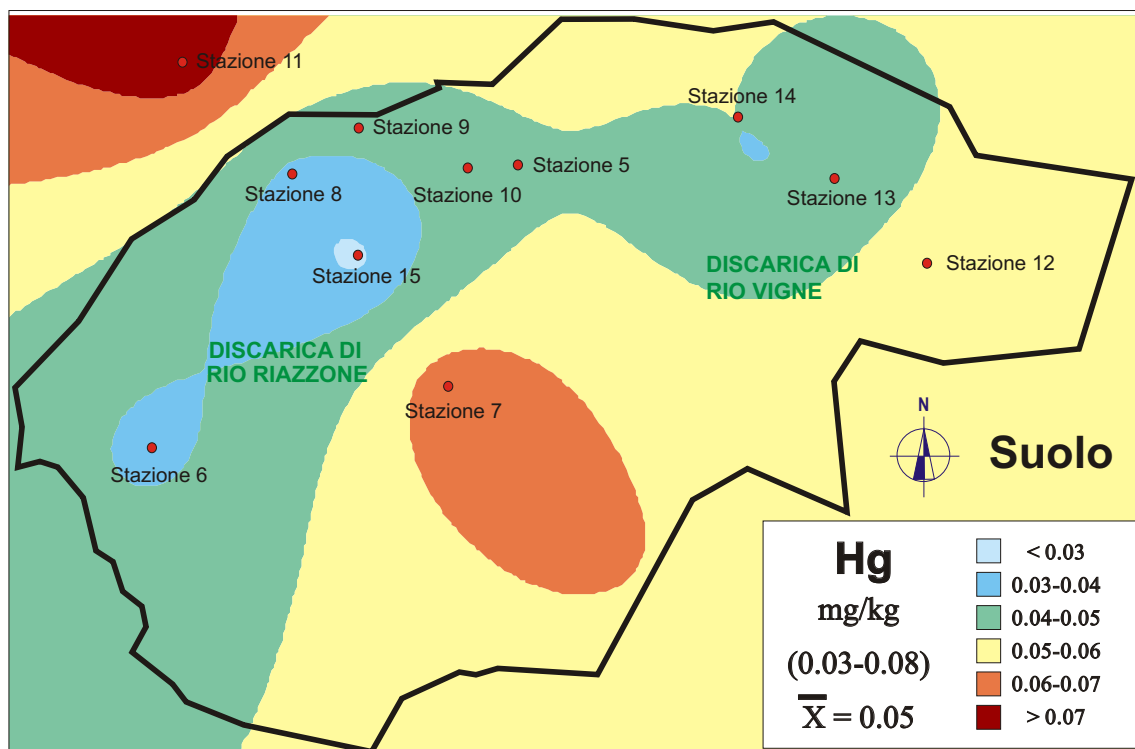


Figura 10a. Mappa di distribuzione del mercurio relativa al suolo

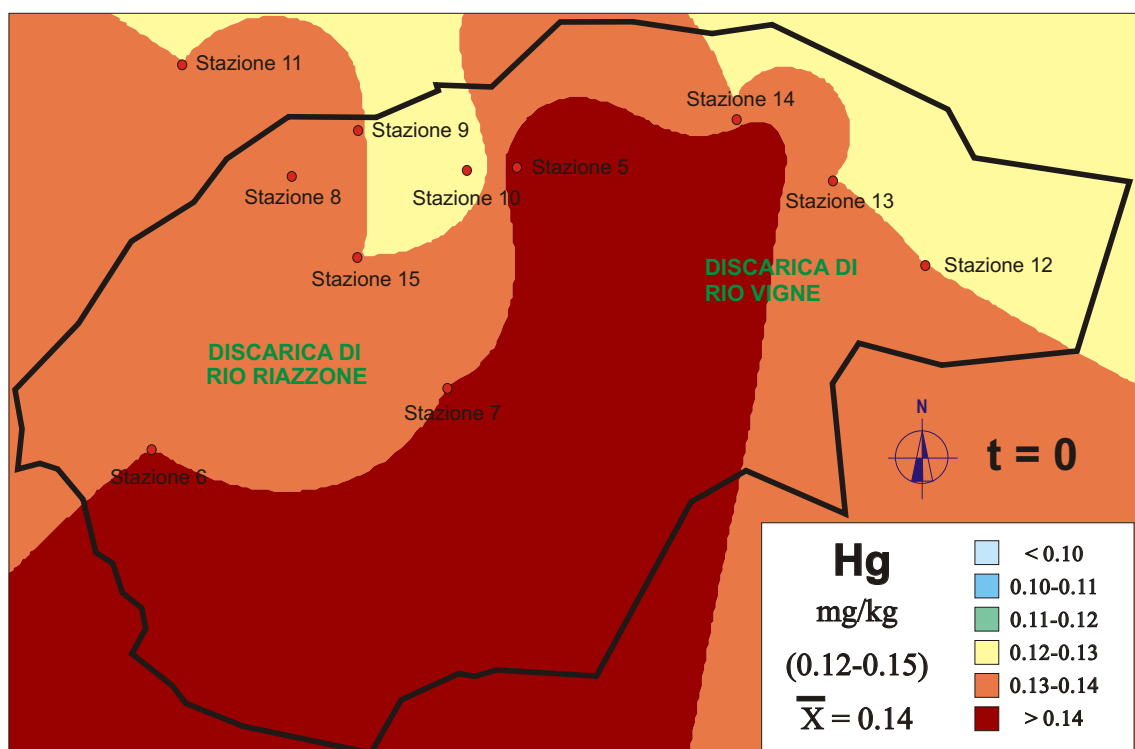


Figura 10b. Mappa di distribuzione del mercurio nei muschi relativa al tempo 0

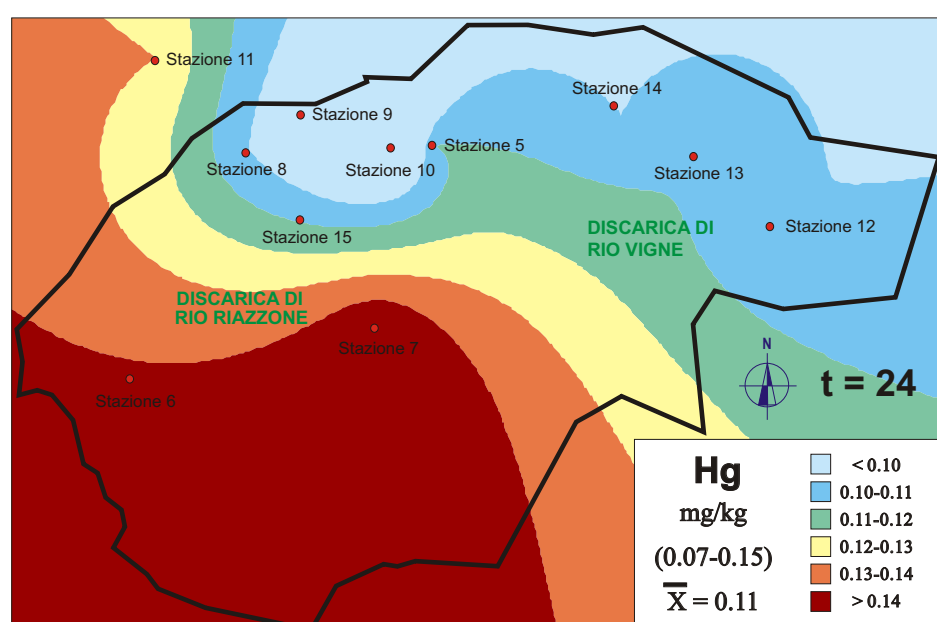
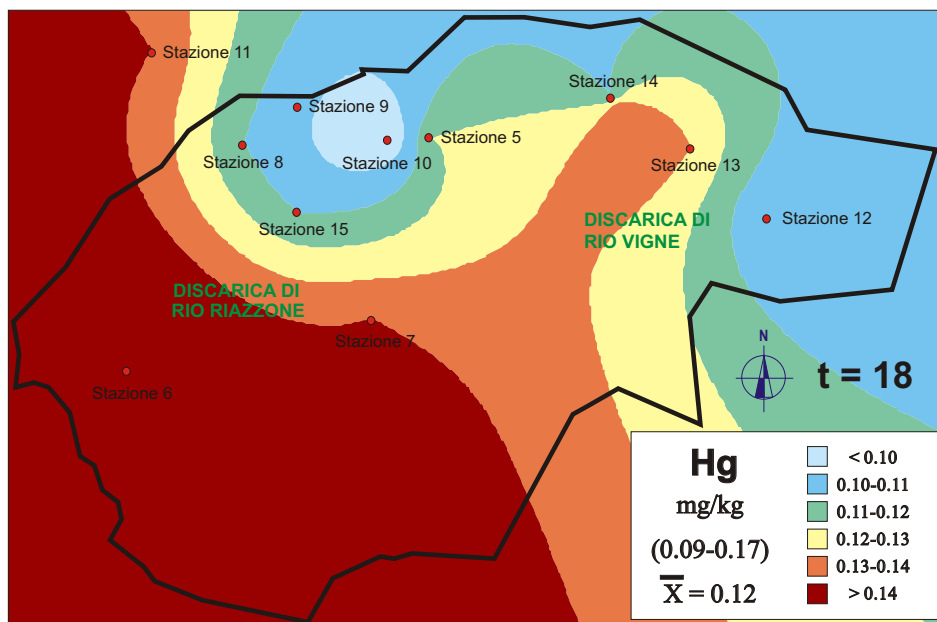
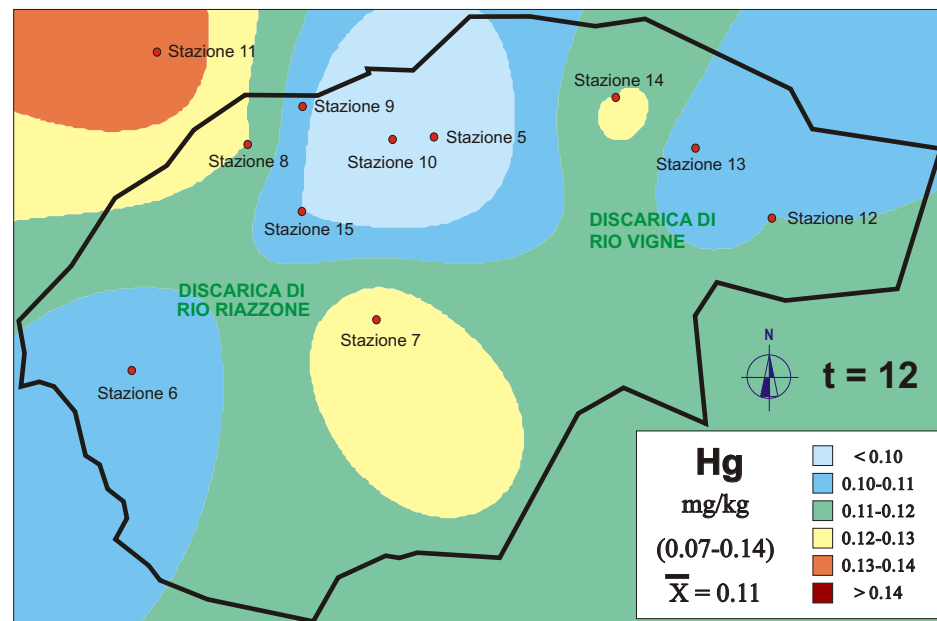
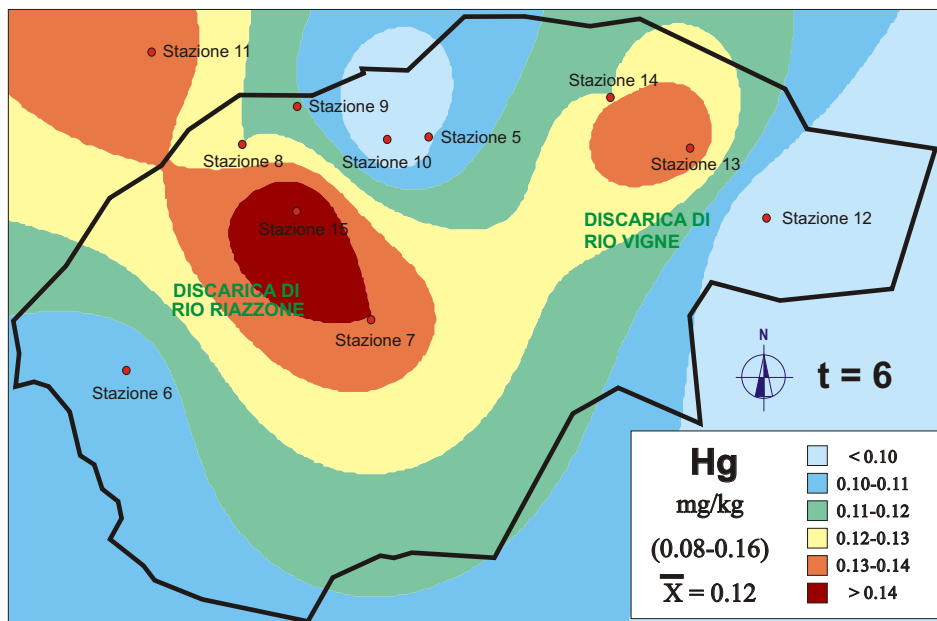


Figura 10c. Mappe di distribuzione del mercurio nei muschi relative al tempo 6, 12, 18 e 24 mesi

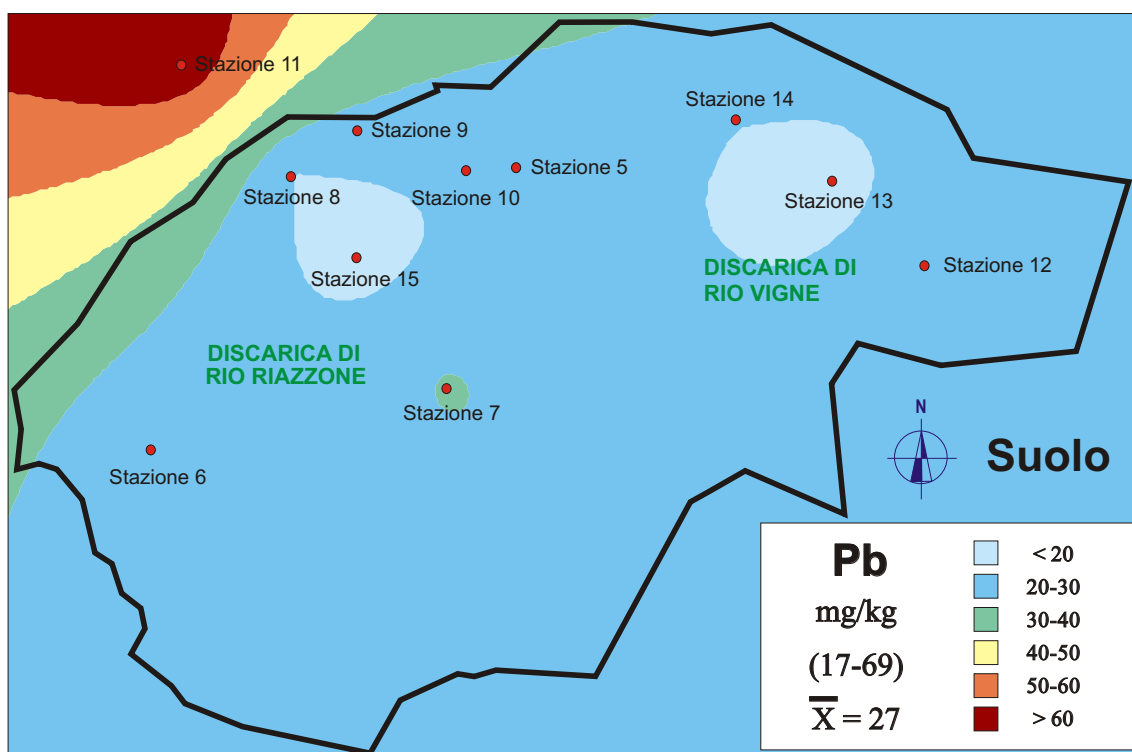


Figura 11a. Mappa di distribuzione del piombo relativa al suolo

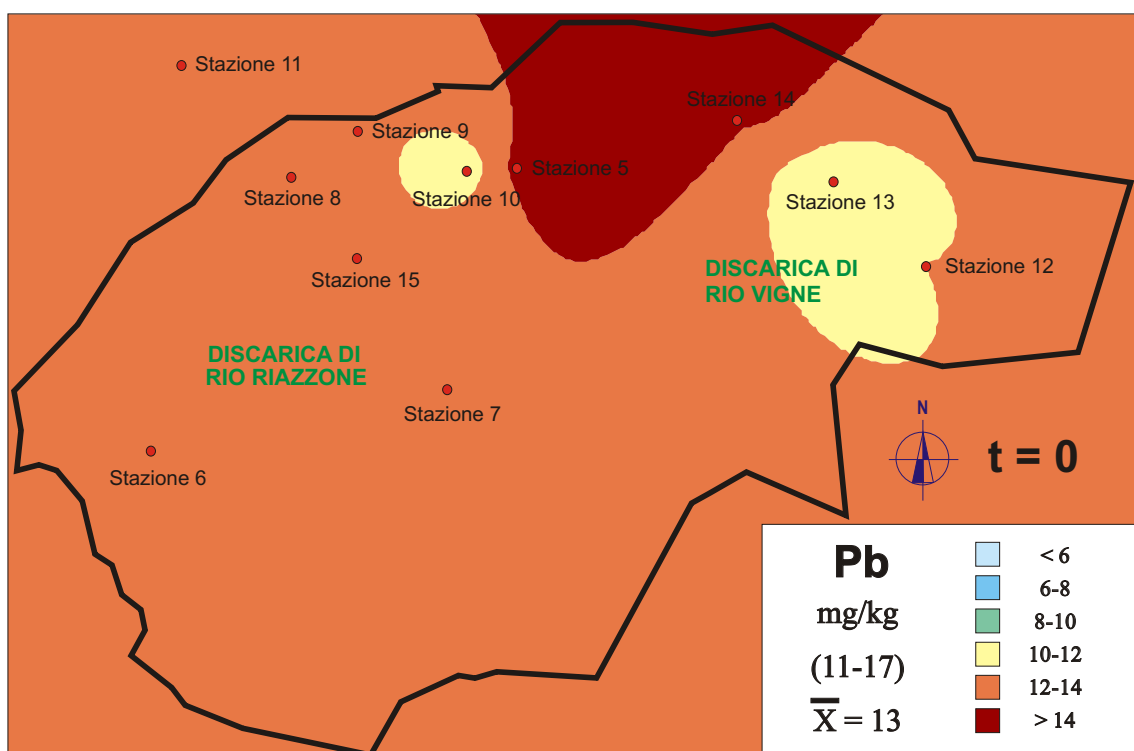


Figura 11b. Mappa di distribuzione del piombo nei muschi relativa al tempo 0

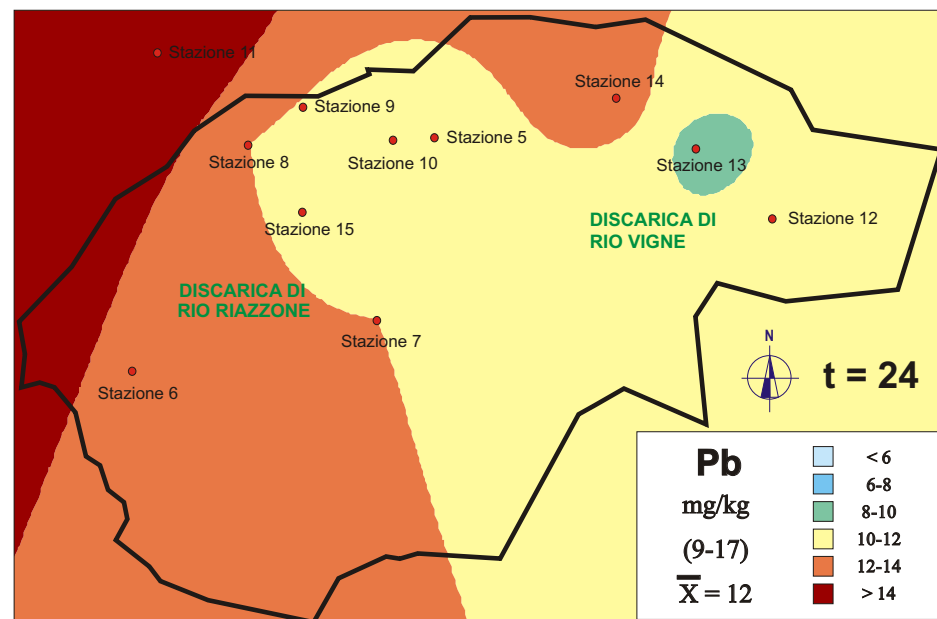
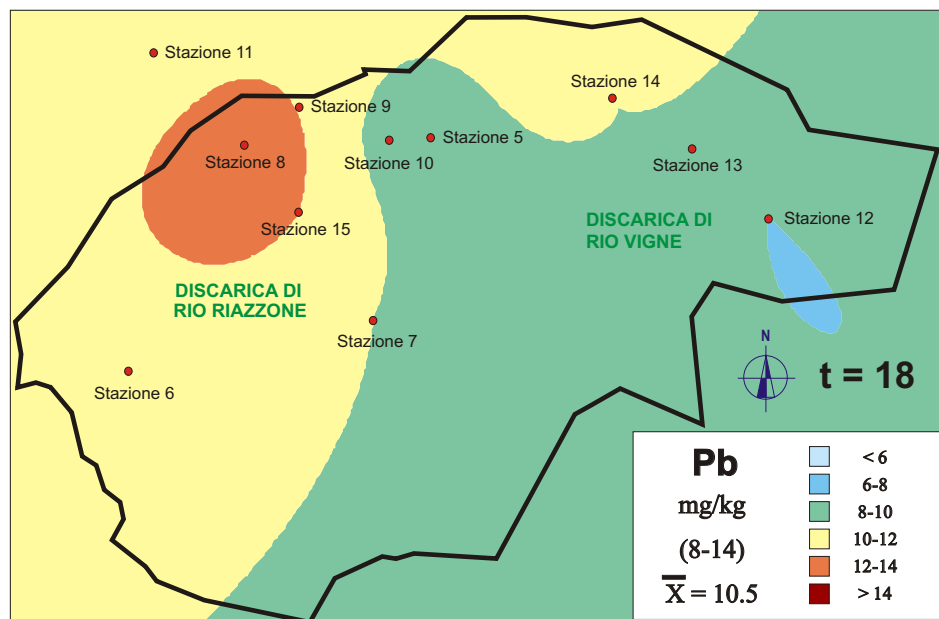
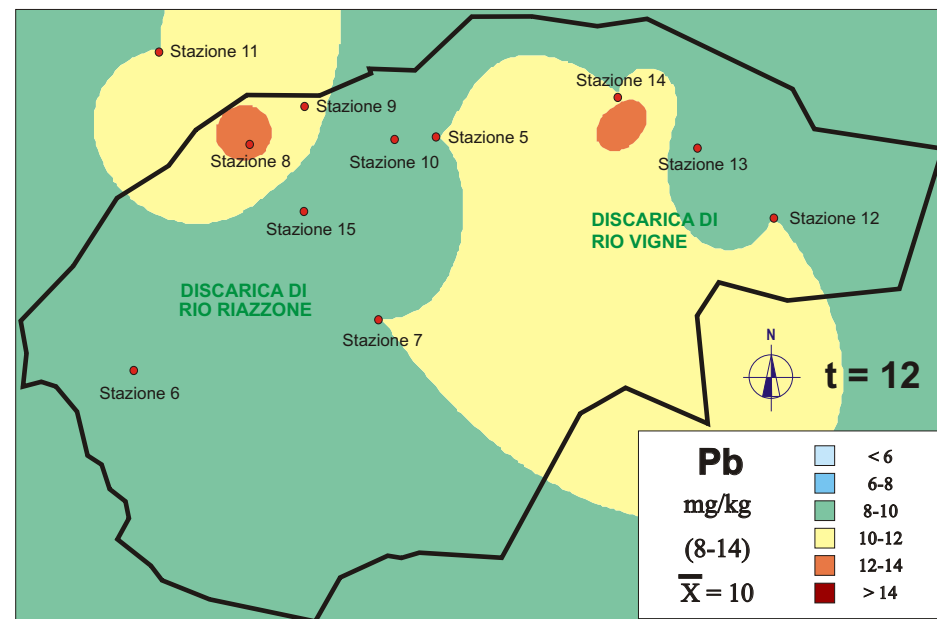
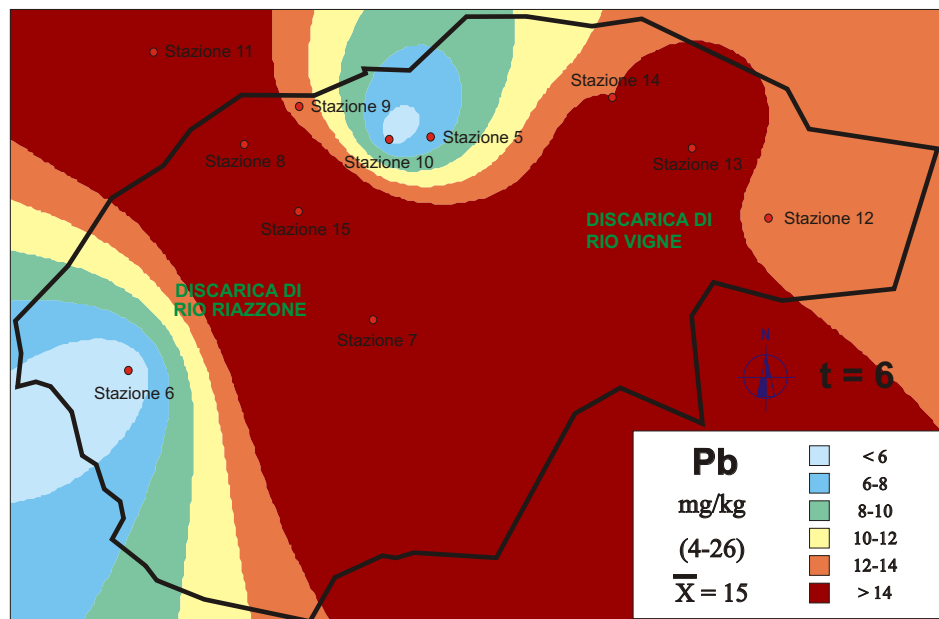


Figura 11c. Mappe di distribuzione del piombo nei muschi relative al tempo 6, 12, 18 e 24 mesi

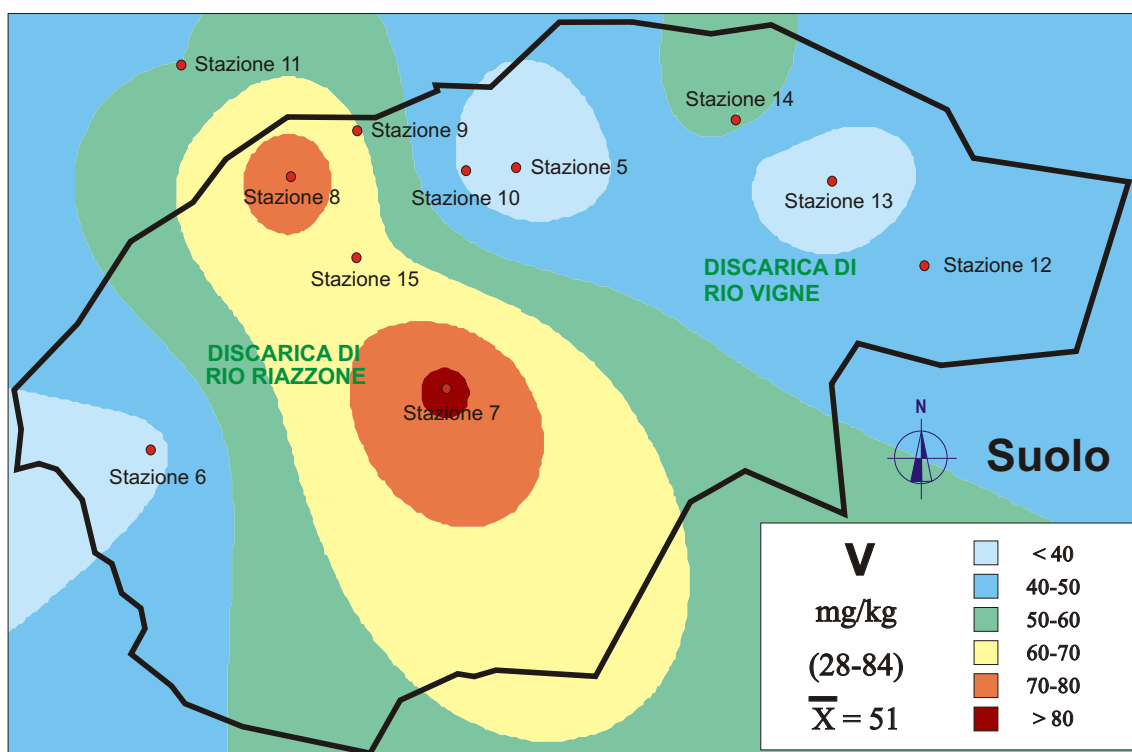


Figura 12a. Mappa di distribuzione del vanadio relativa al suolo

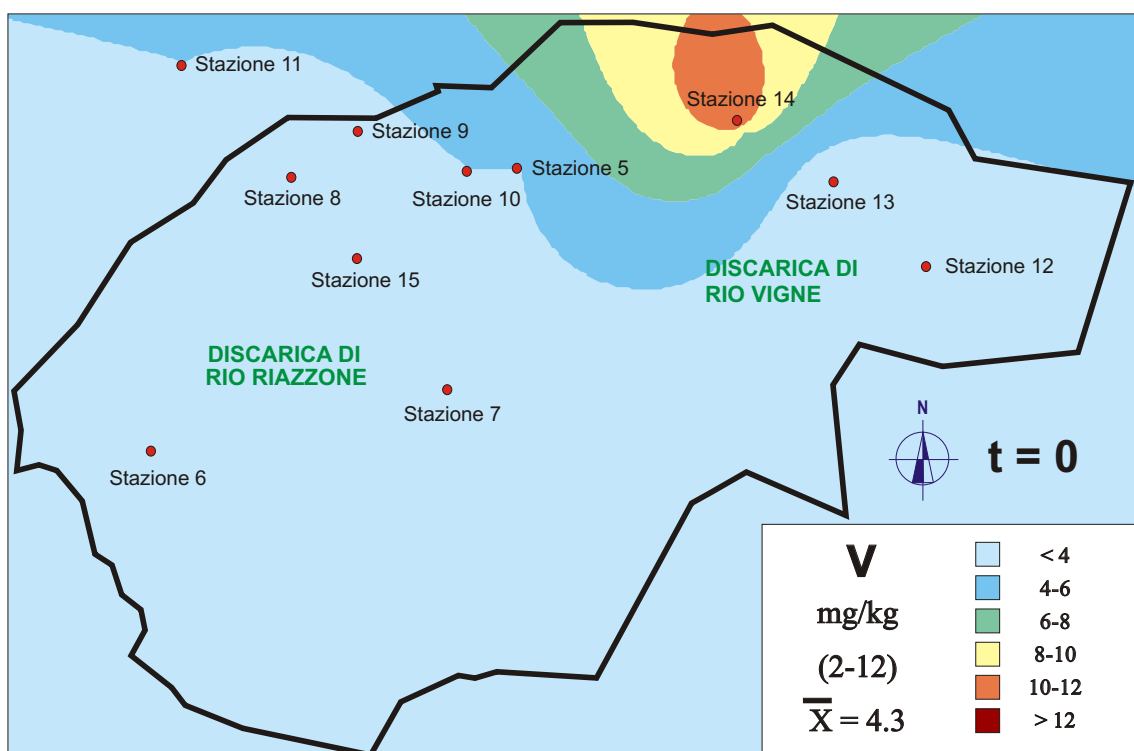


Figura 12b. Mappa di distribuzione del vanadio nei muschi relativa al tempo 0

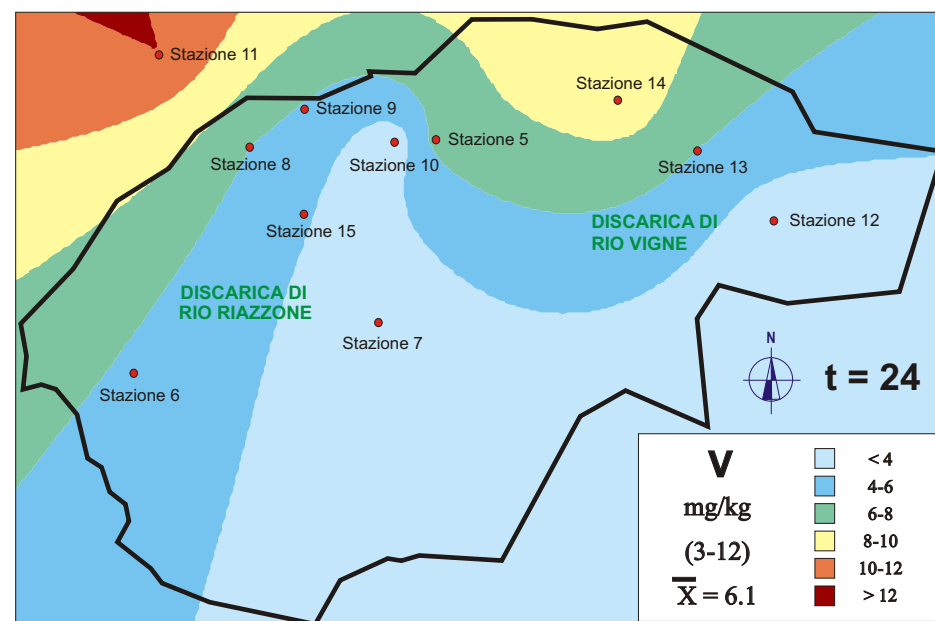
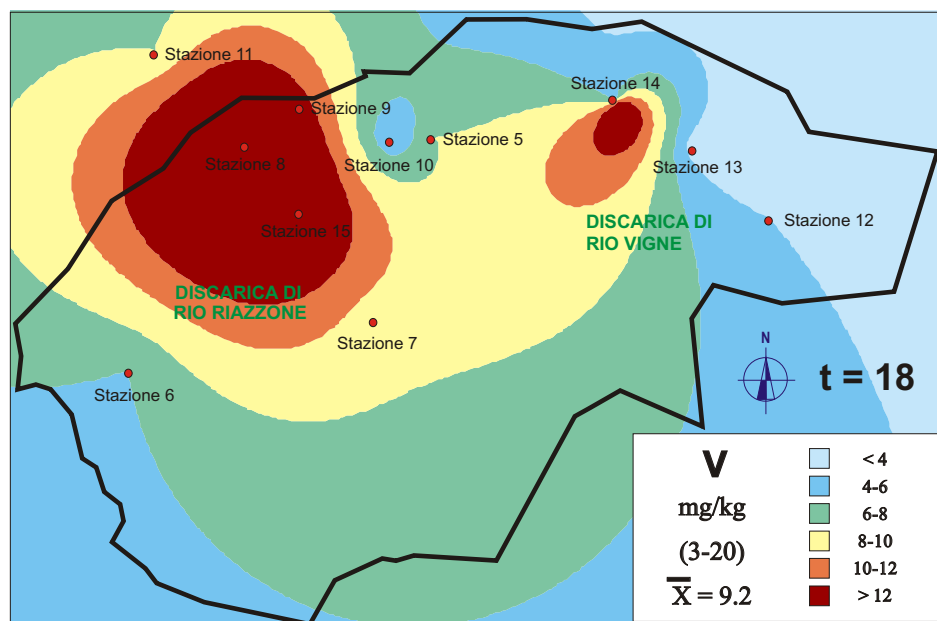
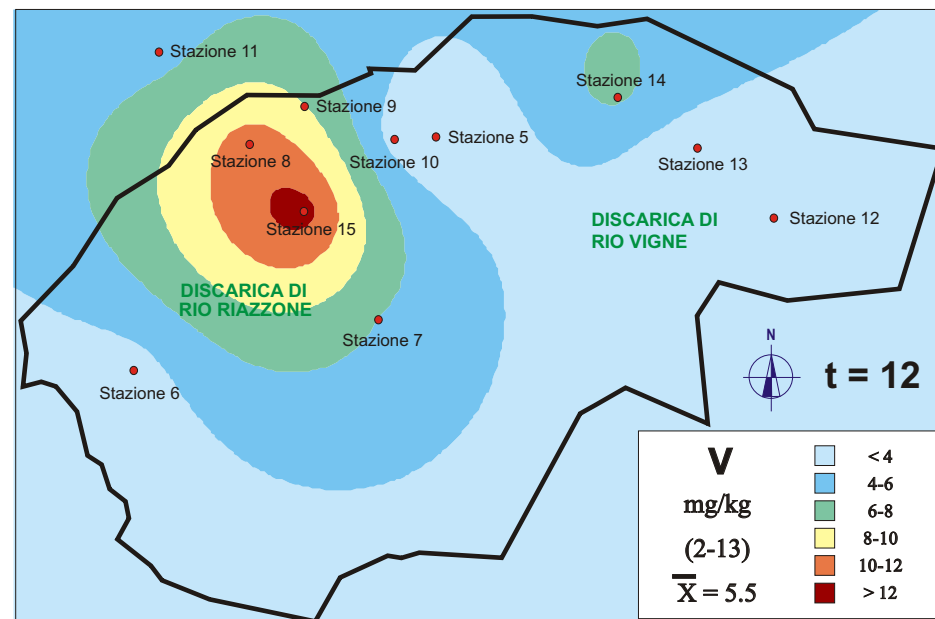
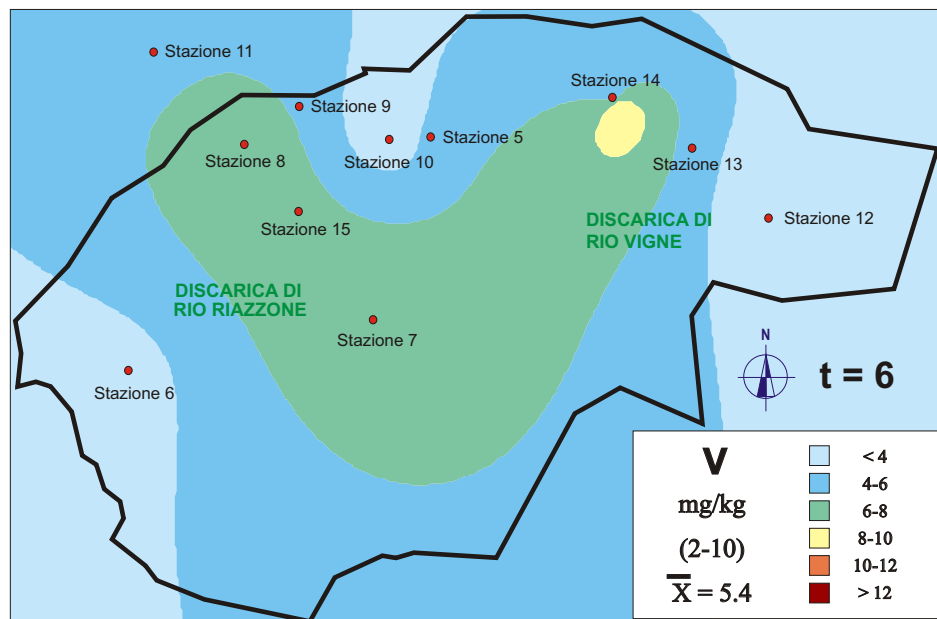


Figura 12c. Mappe di distribuzione del vanadio nei muschi relative al tempo 6, 12, 18 e 24 mesi

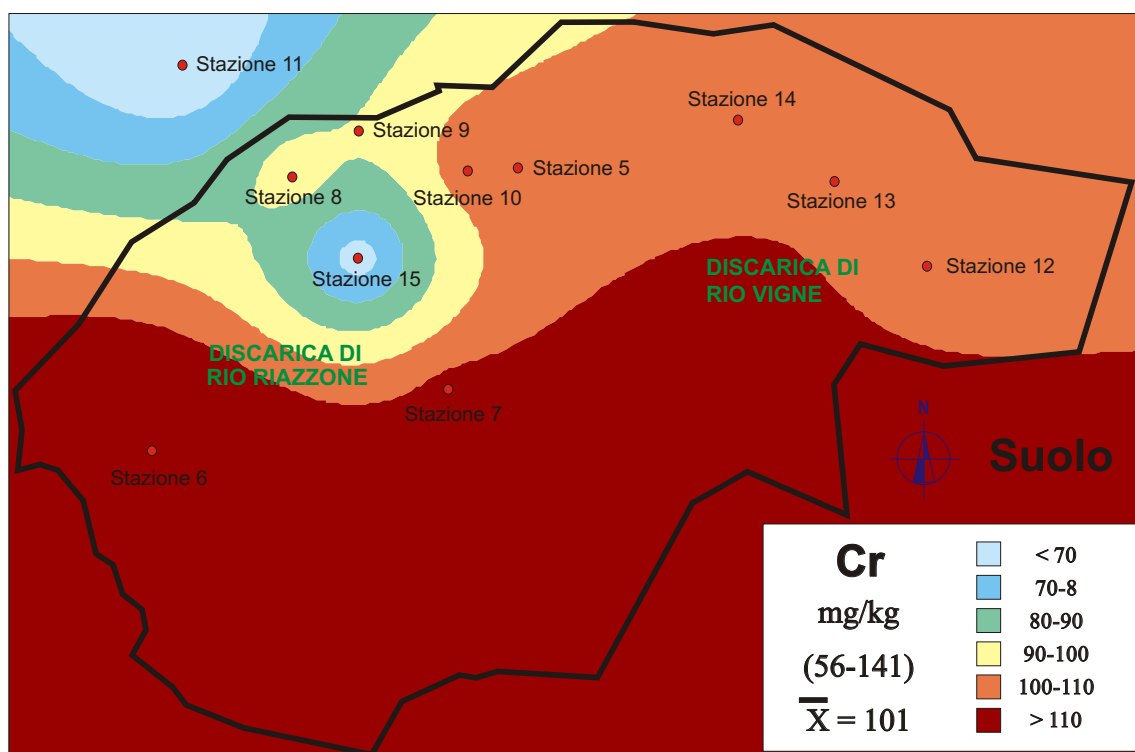


Figura 13a. Mappa di distribuzione del cromo relativa al suolo

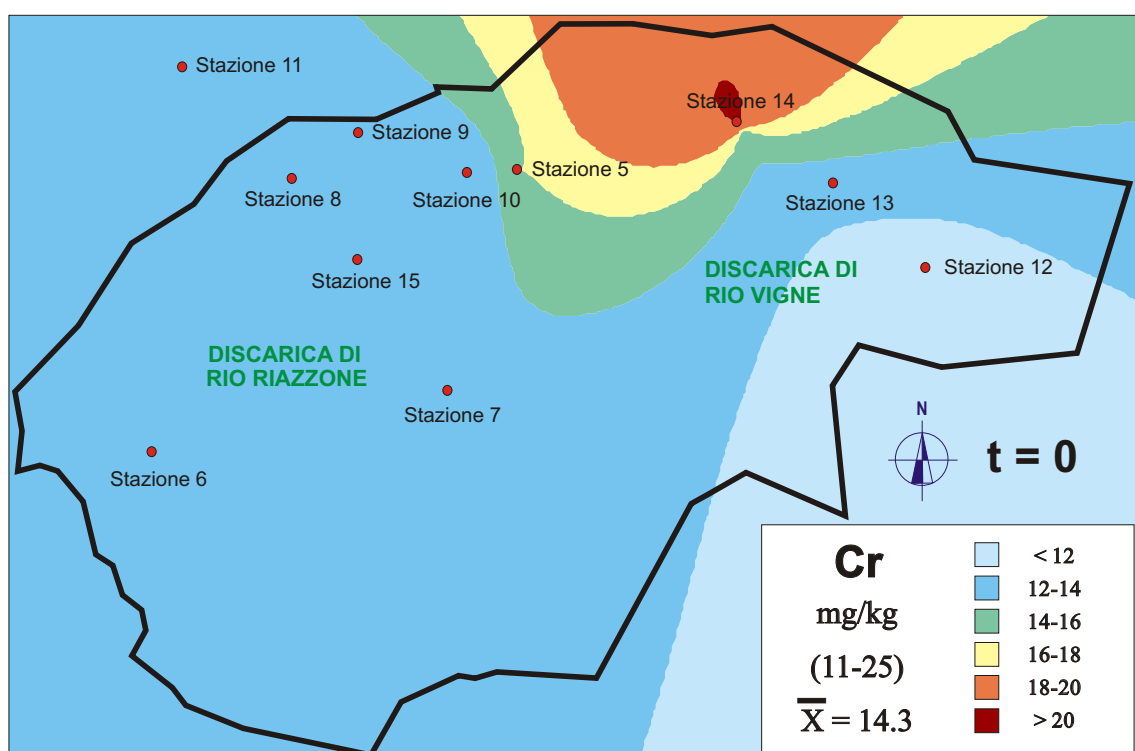


Figura 13b. Mappa di distribuzione del cromo nei muschi relativa al tempo 0

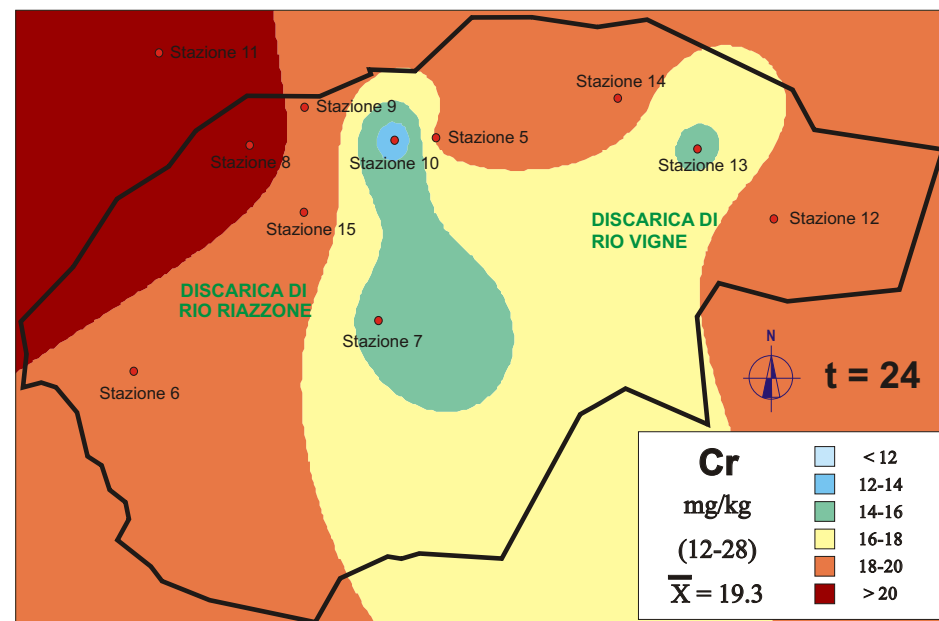
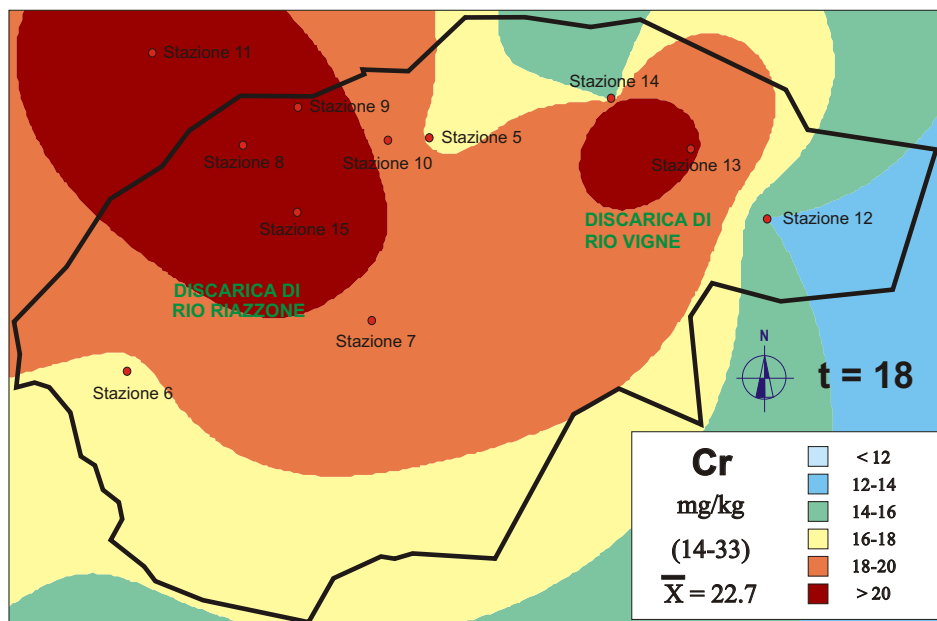
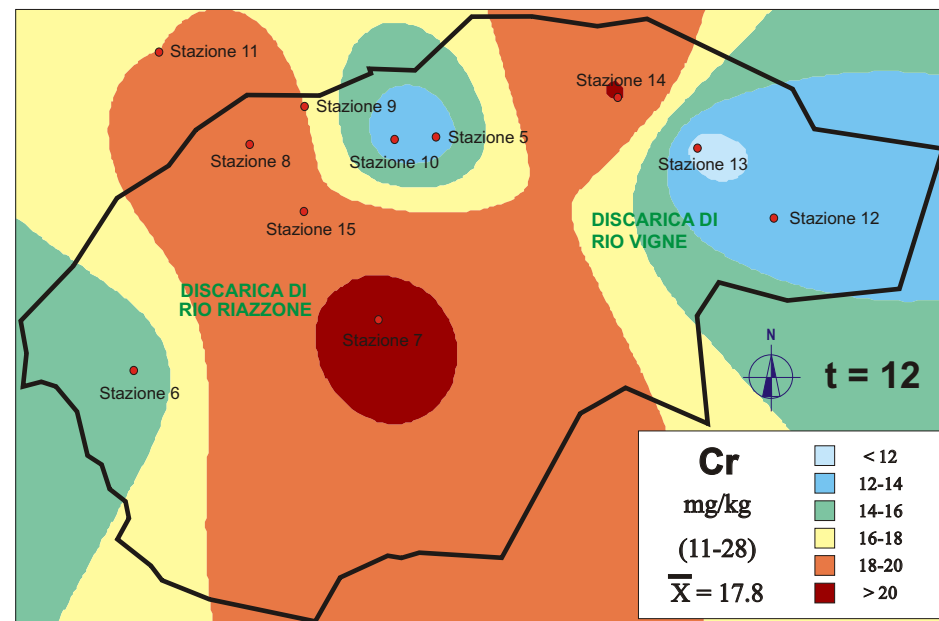
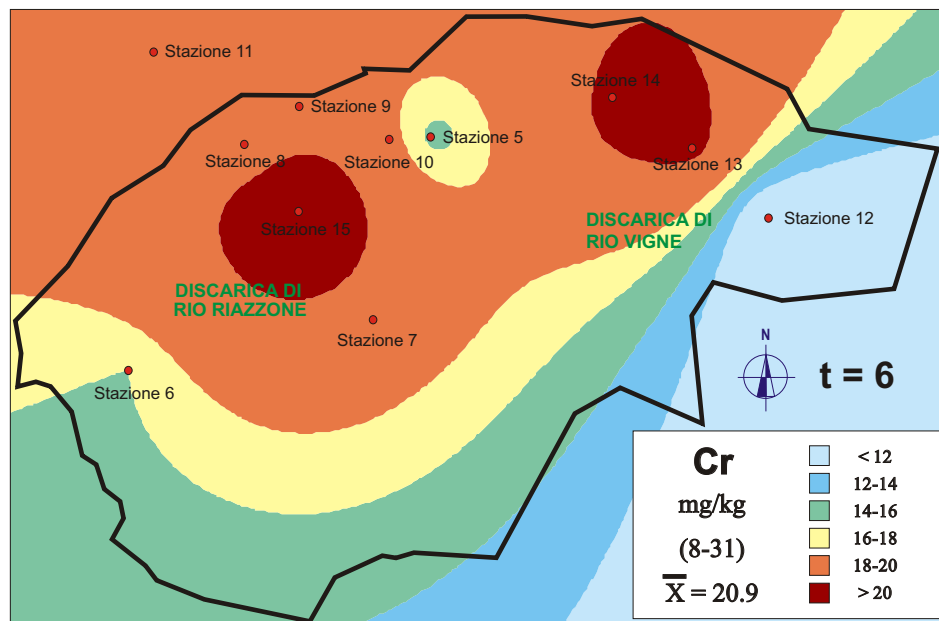


Figura 13c. Mappe di distribuzione del cromo nei muschi relative al tempo 6, 12, 18 e 24 mesi

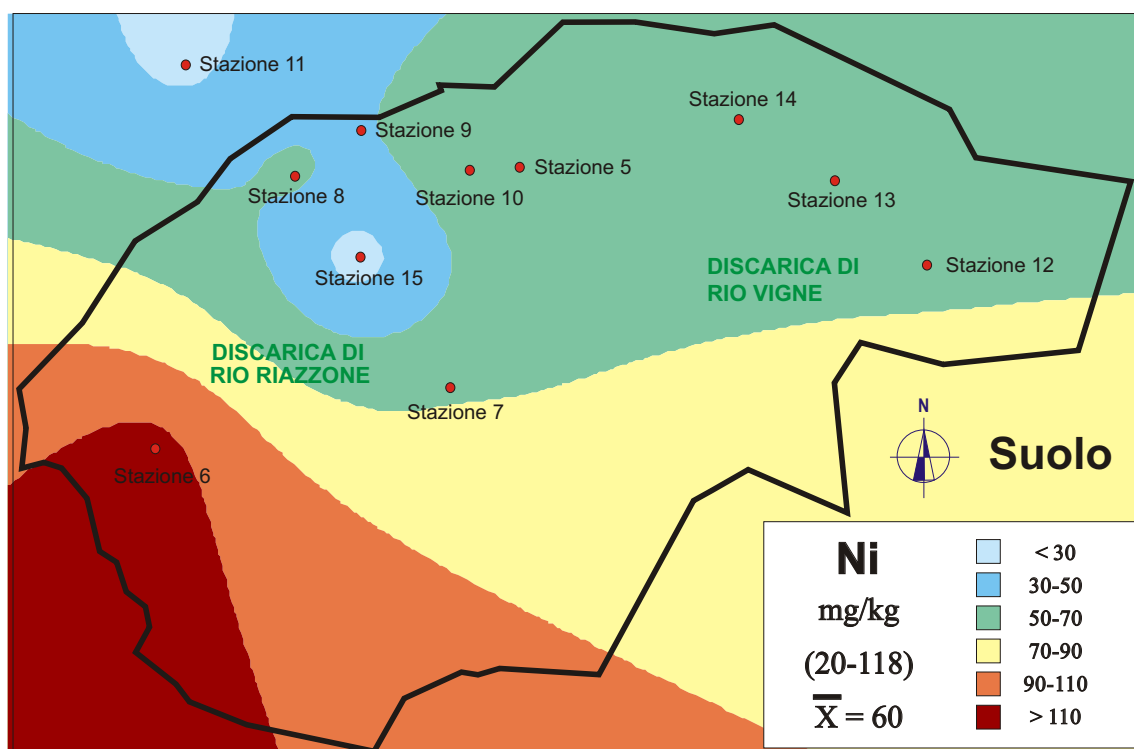


Figura 14a. Mappa di distribuzione del nichel relativa al suolo

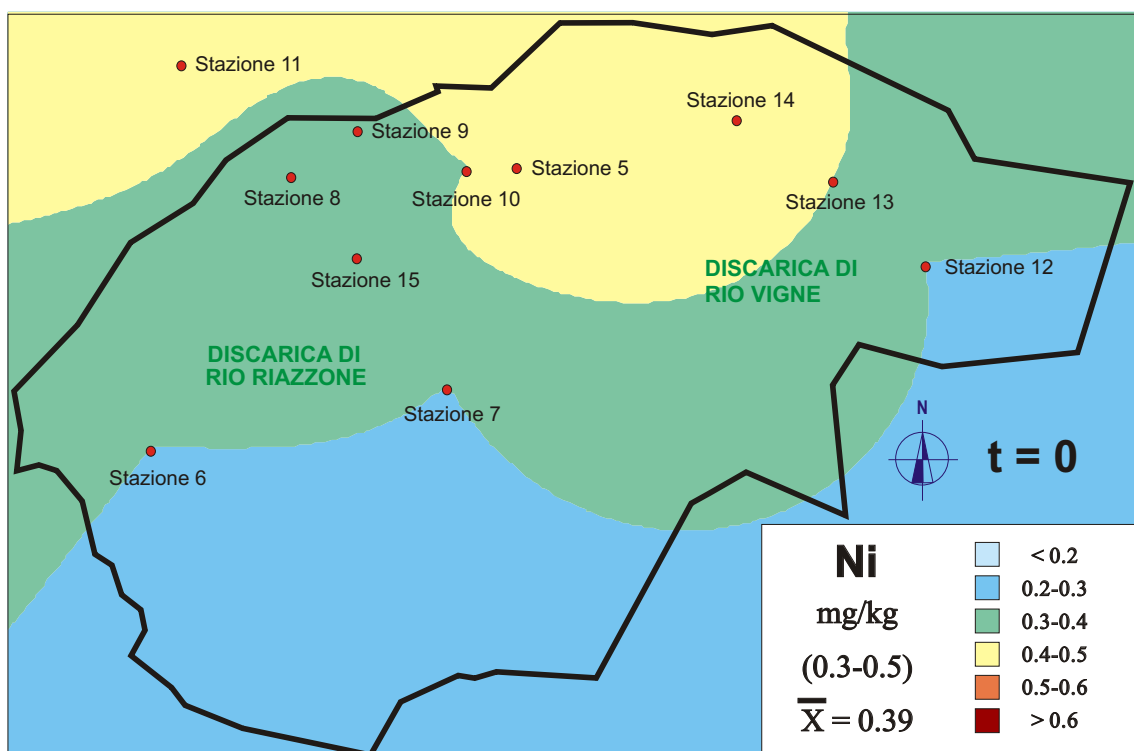


Figura 14b. Mappa di distribuzione del nichel relativa al tempo 0

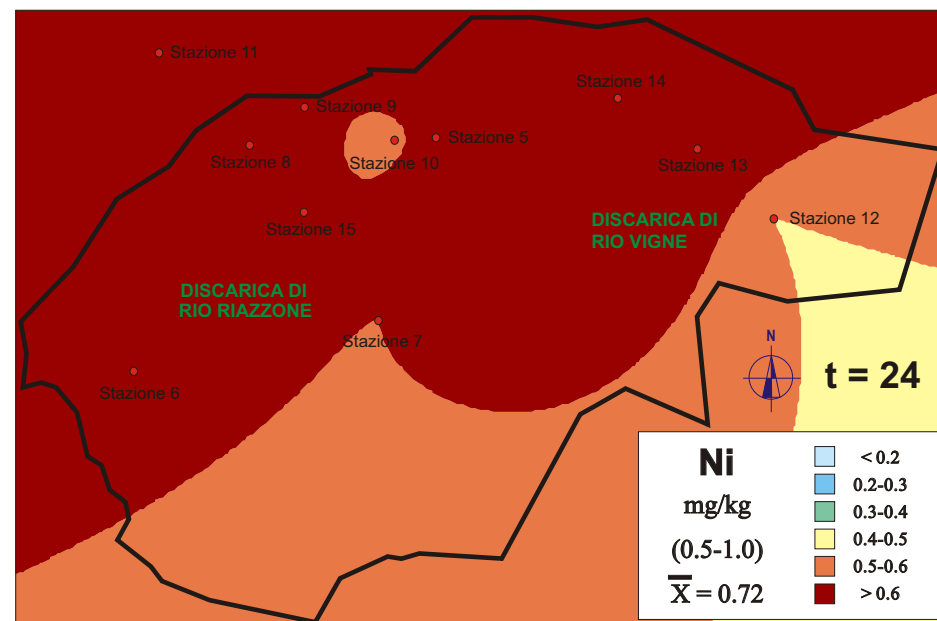
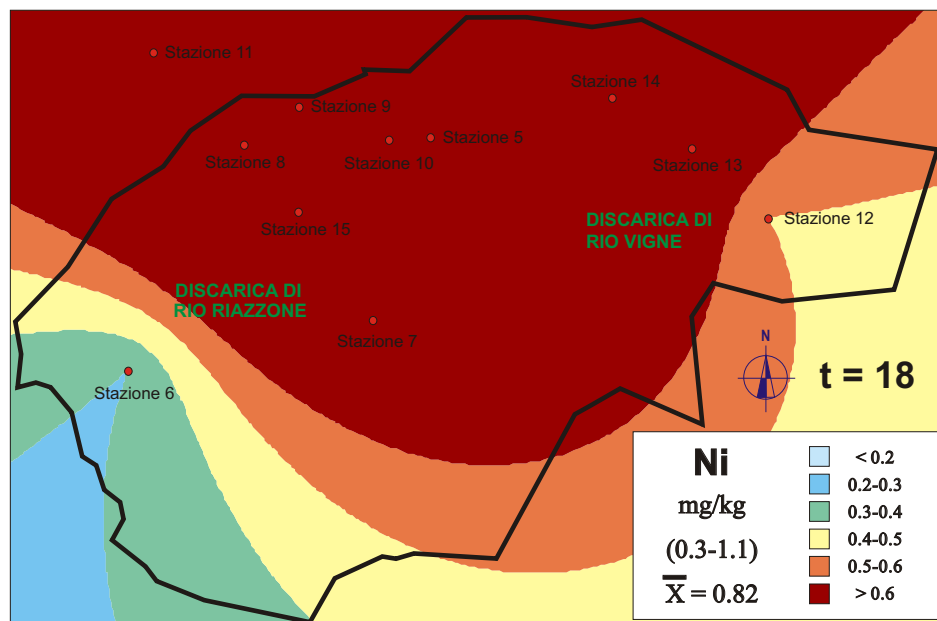
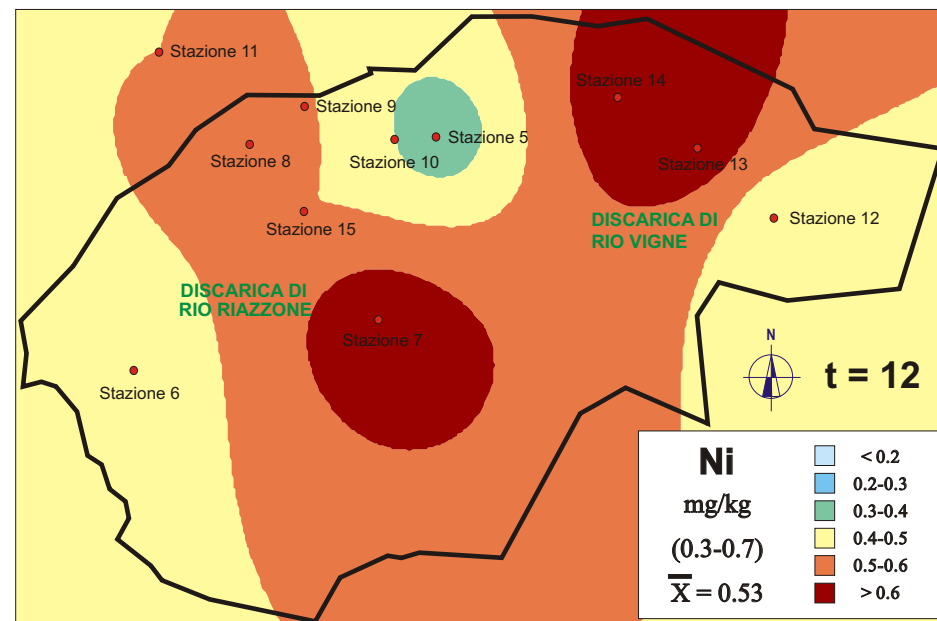
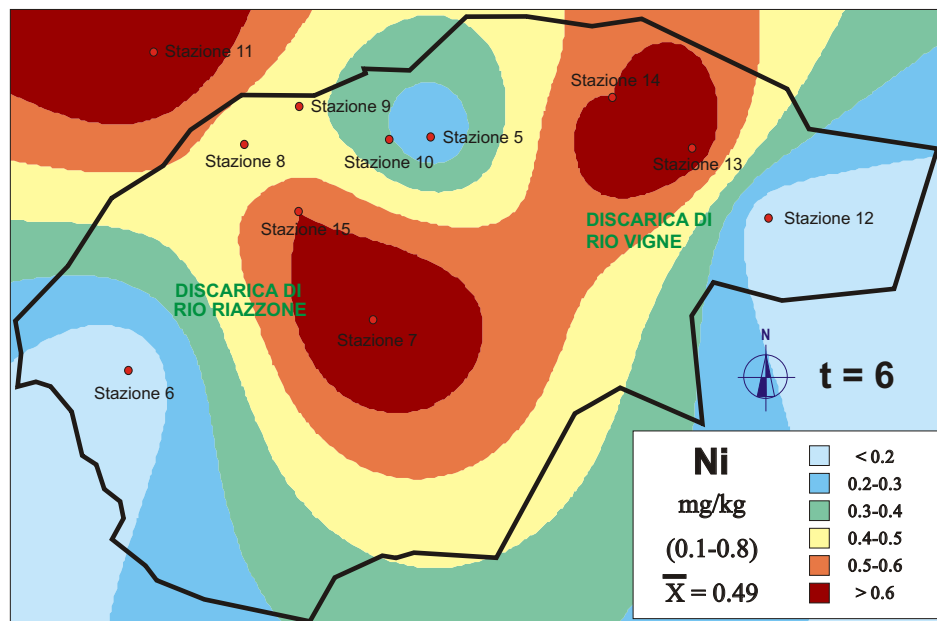


Figura 14c. Mappe di distribuzione del nichel nei muschi relative al tempo 6, 12, 18 e 24 mesi

Platino e Rodio in muschi e suoli

I valori di concentrazione di platino e rodio sono riportati in tabella 19.

Per quanto riguarda l'elemento rodio, analizzato nei muschi e suoli di sei stazioni, scelte in relazione alla loro disposizione geografica, i valori non si discostano tra loro fatta eccezione per il suolo nella stazione 3.

Valori simili sono stati riscontrati nei parchi romani per i muschi, l'intervallo è risultato compreso tra 2.9 e 5.3 µg/kg (Cenci *et al.*, 2004), mentre sempre nella stessa ricerca i valori nei suoli sono risultati più elevati, l'intervallo è stato tra 11-20 µg/kg. Per l'elemento platino, la stazione 6 per i muschi illustra il valore più elevato (194 µg/kg), si osserva una maggiore variazione di concentrazione peraltro riscontrata in uno studio effettuato nei bordi autostradali di due importanti autostrade italiane. Gli intervalli di concentrazione sono stati compresi tra 49 e 397 µg/kg (Cenci *et al.*, 2004). Per quanto riguarda i suoli i valori sono alquanto monotoni e sovrapponibili al valore naturale 2±5 µg/kg (Angelone *et al.*, 2002). Gli stessi autori hanno trovato nei suoli di alcuni parchi romani valori compresi tra 6.2 e 11 µg/kg.

Il rateo di deposizione per l'elemento Pt è compreso tra 0.02 e 0.12 g/ha/anno, mentre per il Rh esso è compreso tra 0.003 e 0.008 g/ha/anno.

Tabella 19. Concentrazione di Rh e Pt (µg/kg massa secca) in alcuni campioni di suolo e muschio

Stazione	Rh	Rh	Pt	Pt
	<i>muschio</i>	<i>suolo</i>	<i>muschio</i>	<i>suolo</i>
	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg
2	3.2	33	19	5.0
3	4.9	10.6	96	5.2
5	6.2	4.8	69	5.5
6	4.4	4.0	194	6.2
10	5.9	3.8	31	5.3
12 muschio indigeno	3.3	4.6	44	3.8
Staz. 3 muschio vecchio trapianto (Poiatica)	4.2		96	
Staz. ex 7 muschio indigeno (Poiatica)	2.3		33	

Tabella 20. Valori percentuali di recupero per campioni standard di riferimento

**CRM 482		
elementi	valori certificati (mg/kg)	recupero (%)
Cr	4.12 ± 0.15	89
Ni	2.47 ± 0.07	98
Cu	7.03 ± 0.19	101
Zn	100.6 ± 2.2	104
Cd	0,56 ± 0,02	91
Pb	40.9 ± 1,4	92
Al	1103 ± 24	109
As	0.85 ± 0.07	83
Hg	0.48± 0.02	113

Tabella 21. Valori percentuali di recupero per campioni standard di riferimento

*NIST 2711		
elementi	valori certificati (mg/kg)	recupero (%)
Cr	(47)	99
Ni	20.6 ± 1.1	103
Cu	114 ± 2	94
Zn	350.4 ± 4.8	99
Cd	41.7 ± 0.25	96
Pb	1162 ± 31	100
Al	65300 ± 900	99
Ti	3060 ± 230	100
V	81.6 ± 2.9	97
Mn	638 ± 28	101
Fe	28900 ± 600	100
Co	(10)	85
As	105 ± 8	100
Mo	(1.6)	84
Sb	19.4 ± 1.8	85
Hg	6.25± 0.19	105

Tabella 22. Determinazione della concentrazione del Hg totale (mg/kg massa secca) in materiali certificati NIST e CRM

Materiale certificato	valori certificati (mg/kg)	replica (mg/kg)	replica (mg/kg)	replica (mg/kg)	replica (mg/kg)	replica (mg/kg)	replica (mg/kg)	replica (mg/kg)	replica (mg/kg)	replica (mg/kg)
*NIST 1515	0.044 ± 0.004	0.047	0.045	0.045	0.047	0.047	0.046	0.047	0.46	0.45
*CRM 482	0.48 ± 0.02	0.55	0.53	0.55	0.54	0.48	0.48	0.47	0.47	0.47
**CRM 61	0.23 ± 0.02	0.27	0.28	0.27	0.26	0.26	0.26	0.28	0.26	0.26
**CRM 62	0.28 ± 0.02	0.33	0.34	0.33	0.32	0.33	0.33	0.33	0.35	0.34
*CRM 141 R	0.25 ± 0.02	0.26	0.27	0.26	0.26	0.23	0.23	0.24	0.24	0.23
*CRM 143 R	1.1 ± 0.07	1.15	1.16	1.16	1.15	1.02	1.06	1.03	1.04	1.04
*NIST 2711	6.25 ± 0.19	6.68	6.62	6.57	6.42	6.53	6.61	6.48	6.50	6.63

*materiale standard minerale

**materiale standard vegetale

Gli standard utilizzati, nel corso dei trattamenti dei campioni di suolo e muschio e delle rispettive analisi, sono stati prodotti dalla Commissione Europea (Certified Reference Materials CRM e dalla NIST (National Institute of Standards and Technology, U.S.A.). La loro composizione è la seguente: CRM 141R (suolo calcareo), CRM 143R (Fango di depurazione ammendato con suolo), CRM 280 (sedimento di lago), NIST 2711 (Suolo), CRM 61 (pianta acquatica CRM 62 (foglie di ulivo), CRM 482 (lichene), NIST 1515 (foglie di melo).

Conclusioni

L'indagine ambientale in tre discariche di rifiuti solidi e nell'area vasta" mediante l'utilizzo di muschi indigeni, muschi trapiantati e suoli superficiali per un periodo di monitoraggio di 24 mesi ha permesso l'ottenimento di numerose informazioni utili circa la "qualità ambientale" permettendo una valutazione positiva della corretta e buona conduzione delle tre discariche.

Per quanto riguarda le aree interessate dalle tre discariche, il monitoraggio con muschi trapiantati non ha evidenziato, nel periodo di controllo di 24 mesi, alcun significativo aumento di concentrazione, i ratei di deposizioni sono risultati confrontabili a quelli di aree a ridotta pressione antropica o naturale.

Le concentrazioni riscontrate negli elementi indagati nell'area vasta", mediante l'utilizzo di muschi indigeni, hanno evidenziato un'area a ridotta pressione antropica.

I valori di concentrazione riscontrati nei suoli per gli elementi indagati sono tipici di aree con suoli argillosi. Il confronto con i limiti tabellari del D.M. numero 471 del 1999 pone i valori di concentrazione ottenuti in questo studio al di sotto dei valori soglia della tabella A per siti ad uso verde pubblico, privato e residenziale.

In conclusione si può affermare che nel periodo di indagine non sono stati osservati significativi incrementi di concentrazione imputabili a una cattiva gestione delle discariche, oppure causati da incidenti occasionali o dalla cenere di fuochi derivanti da combustioni spontanee.

Bibliografia

- M. Angelone, G. Armiento, R. Cinti, R. Somma, and A. Trocciola. (2002).** Platinum and Heavy metal concentration levels in urban soils of Naples (Italy). *Fresenius Envir. Bull.* 8, 432-436 pp.
- R. Bargagli, E. Battisti, E. Cardaioli, P. Formichi e L. Nelli. (1994)** La deposizione atmosferica di elementi in tracce in Italia. Prime rilevazioni mediante i muschi. *Inquinamento.* 2, 45-58 pp.
- T. Berg and H. Steinnes. (1997).** Use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) as biomonitors of heavy metal deposition: from relative to absolute deposition values. *Environmental Pollution.* 98, 61-71 pp.
- A. Caballeira, J.A. Couto and J.A. Fernandez. (2002).** Estimation of back-ground levels of various elements in terrestrial mosses from Galicia NW Spain). *Water Air Soil Pollut.* 133, 235-252 pp.
- M. Castello. (1996).** Monitoring of airborne metal pollution by moss bags: a methodological study. *Studia Geobotanica.* 15, 91-103 pp.
- R.M. Cenci, L. Paracchini, C. Papucci, C. Benco, F. Palmieri e R. Neri. (1995).** Muschi e suoli per il controllo della contaminazione ambientale da metalli. La Città e l'ENEL Comune Della Spezia. 93-120 pp.
- R.M. Cenci. (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 Atti1999. 2, 241-263 pp.
- R.M. Cenci, M. Dapiaggi, F. Leva, N. Plooy e M. Bergonzoni. (1999).** Mosses used to monitor trace elements in micro and macro areas. *Environmental Impact, Aftercare and Remediation of Landfills. Sardinia 99.* 4, 447-454 pp.
- R.M. Cenci. (2001).** Atti del Congresso Ambientale e Territorio, Ricicla 2001. Monitoraggio ambientale antecedente l'entrata in funzione di un termodistruttore. 146-148 pp.
- R.M. Cenci, F. Leva, F. Fornasier, P. Cantone, D. Dabergami, F. Sena, G. Menchini e P. Matcovich. (2001).** Valutazione delle ricadute di elementi in tracce nella provincia di Gorizia mediante l'utilizzo di suoli e muschi. *Inquinamento. Anno XLIII.* 33, 44-51 pp.
- R.M. Cenci. 2002.** Studio di monitoraggio ambientale dell'area del Comune di Parona (PV). Editorial Board R.M. Cenci and G. Lodigiani. Vol. 1. EUR 20260/IT. 72 pp.
- R. M. Cenci, P. R. Trincerini, F. Leva e F. Galanti. (2002).** Distribuzione di metalli pesanti in suoli e muschi della Sicilia. Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo. Atti del Convegno del cinquantenario 1952-2001. L'emergenza suolo. 51 (1-2), 277-288 pp.
- R.M. Cenci, G.M. Beone, D. Dabergami, P. Nappi, R. Barberis, A. Besozzi e L. Musmeci. (2003).** Utilizzo di muschi e suoli per valutare le deposizioni atmosferiche di elementi in tracce nella regione Piemonte. *Biologi Italiani.* XXXIII. 1, 61-72 pp.
- R.M. Cenci, G.M. Beone, P. Trincerini, D. Dabergami, F. Sena, A. Besozzi e F. Bo. (2003).** Preparazione di un campione omogeneo di suolo argilloso: dalla raccolta all'analisi. Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo. 52 (1-2), 139-146 pp.
- R.M. Cenci, M. Barbieri, G. Bidoglio, F. Bo, C. Corace, V. Cocheo, S. Contini, D. Dabergami, F. D'Alberti, M. D'Alessandro, E. De Saeger, S. Di**

- Nicolantonio, L. Leita, G. Locoro, F. Leva, C. Mondini, B. Paracchini, F. Sena, H. Skejo-Andresen, S. Stella, P. Trincerini e G. Umlauf. (2003).** Monitoraggio ambientale antecedente l'entrata in funzione di un termodistruttore. (CD). EUR 20674 IT.
- R.M. Cenci, A. Benedetti, E. Beccaloni, E. Stacul e L. Musmeci. (2004).** Contaminanti organici e inorganici presenti in muschi e suoli urbani: i parchi della città di Roma. Convegno nazionale SISS. Suolo e dinamiche ambientali. Università degli Studi della Tuscia, Viterbo 22-25 Giugno 2004.
- R.M. Cenci, C. Barbante, M. Bianchi, J. Lintelmann, C. Capodoglio, G. Cattaneo e M. Zavettore. (2004).** Transetti autostradali: elementi in traccia e contaminanti organici (IPA) valutati mediante muschi e suoli superficiali. Convegno nazionale SISS. Suolo e dinamiche ambientali. Università degli Studi della Tuscia, Viterbo 22-25 Giugno 2004.
- D. Dabergami e R.M. Cenci. 2002.** Secondo anno di indagini sul territorio di Castano Primo: Esperienze con Suoli Muschi e Acque. EUR 20380 IT. 61 pp.
- R. Delfanti, C. Papucci and C. Benco. (1999).** Mosses as indicators of radioactivity deposition around a coal-fired power station. *Sci. Total Environ.* **227**, 49-56 pp.
- F.A.Y. Gailey e O.I. Lloyd. (1986).** Atmospheric metal pollution monitored by spherical moss bags a case study of Armadale. *Environmental Health Perspectives.* **68**, 187-196 pp.
- R. Gerdol, L. Bragazza, R. Marchesini, R. Aber, L. Bonetti, G. Lorenzoni, M. Achilli, A. Buffoni, N. De Marco, M. Franchi, S. Pison, S. Giaquinta, F. Palmieri and P. Spezzano. (2000).** Monitoring of heavy metal deposition in Northern Italy by moss analysis. *Environ. Pollut.* **108**, 201-208 pp.
- R. Gerdol, L. Bragazza, R. Marchesini, A. Medici, P. Pedrini, S. Benedetti, A. Bovolenta and S. Coppi. (2002).** Use of moss (*Tortula muralis* Hedw.) for monitoring organic and inorganic pollution in urban and rural sites in Northern Italy. *Atmospheric Environ.* **36**, 4069-4075 pp.
- G.T Goodman. e T.M. Roberts. (1971).** Plants and soils as indicators of metal in the air. *Nature.* **231**, 287-292 pp.
- L. Galsomies, S. Ayrault, F. Carrot, C. Deshamps and M.A. Letrouit-Galinou. (2003).** Interspecies calibration in mosses at regional scale. Heavy metal and trace elements results from Ile-de-France. *Atmospheric Environ.* **37**, 241-251 pp.
- C. Giovani, P.L. Nimis, G. Bolognini R., Padovani and A. Usco. (1994).** Bryophytes as indicators of radiocesium deposition in north-eastern Italy. *Sci. Total Environ.* **157**, 35-43 pp.
- U. Herpin and J. Berlekamp. (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. *Sci. Total Environ.* **187**, 185-198 pp.
- ITALIA. (1999).** D.M. del 25/10/99 n. 471: "Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi dell'articolo 17 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22, e successive modificazioni ed integrazioni". G.U. (Suppl. Ord) n. 218/L del 15/12/99, n. 293 pp.
- Johnsen, K. Pilegaard e E. Nymand. (1983).** Heavy metal uptake in transplanted and in situ yarrow (*achillea millefolium*) and epiphytic cryptogams at rural, urban and industrial localities in Denmark. *Environmental Monitoring and Assessment.* **3**, 13-22 pp.

- G. Kirchner and Q. Daillant. (2002).** The potential of lichens as long-term biomonitors of natural and artificial radionuclides. *Environmental Pollution*. **120** (1), 145-150 pp.
- J.C. Knulst, H.O. Westling and F. Brorstrom-Lunden. (1995).** Airborn organic micropollutant concentrations in mosses and humus as indicators for local versus long-range sources. *Environ. Monitoring Assessment*. **36**, 75-91 pp.
- B. Markert. (Ed.). (1993).** Plants as biomonitors/indicators for heavy metals in the terrestrial environment. VCH Publiscer, Weinheim, 640 pp.
- B. Markert, U. Herpin, U. Siewers, J. Berlekamp and H. Lieth. (1996).** The German heavy metal survey by means mosses. *Sci. Total Environ*. **182**, 159-168 pp.
- P. Nappi, R. M. Cenci, R. Barberis e D. Dabergami. (2003).** Suoli e muschi del Piemonte centro-nord: ditribuzione della concentrazione di elementi in tracce e flussi di deposizione. *Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo*. **52** (1-2) 775-787 pp.
- I. Olmez, M. C., Gulovali and G. E. Gordon. (1985).** Trace element concentrations in lichens near a coal-fired power plant. *Atmos. Environ*. **19**, 1663 pp.
- R. Orlinski. (2002).** Multipoint moss passive samplers assessment of urban airborne polycyclic aromatic hydrocarbons: concentrations profile and distribution along Warsaw main streets. *Chemosphere*. **48**, 181-186 pp.
- E. Ötvös, I. Pazmandi And Z. Tuba. (2003).** First national survey of atmospheric heavy metal deposition in Hungary by the analysis of mosses. *Sci. Total Environ*. **309**, 151-160 pp.
- K. Pilegaard. (1979).** Heavy metals in bulk precipitation and transplanted *Hypogymnia physodes* and *Dicranoweisia cirrata* in the vicinity of Danish steelworks. *Water Air Soil Pollut*. **11**, 79-91 pp.
- H.B. Ross. (1990).** On the use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) for estimating atmospheric trace metal deposition. *Water Air Soil Pollut*. **50**, 63-76 pp.
- Å. Røling. (1994).** Atmospheric Heavy metal deposition in Europe. *Nord*. 58 pp.
- Å. Røling and G. Tyler. (1970).** Sorption and retention of heavy metals in the woodland moss *Hylocomium splendens* (Hedw.) *Br. Et Sch. Oikos*. **21**, 92-97 pp.
- Å. Røling, L. Rasmussen, K. Pilegaard, A. Mäkinen and E. Steinnes. (1987).** Survey of atmospheric heavy metal deposition in the Nordic countries in 1985. Nordic Council of Ministry. Copenhagen (NORD).
- E. Steinnes and O. Njastad. (1993).** Use of mosses and lichens for regional mapping of ¹³⁷Cs fallout from the Chernobyl accident. *Journal of Environmental Radioactivity*. **21**, 65-73 pp.
- W. Thomas. (1984).** Statistical models for the accumulation of PHA, chlorinated hydrocarbon and trace metals in epiphytic *Hypnum cupressiforme*. *Water Air Soil Pollut*. **22**, 351-371 pp.
- A. Ugur, B. Özden, M.M. Sacand and G. Yener. (2003).** Biomonitoring of ²¹⁰Po and ²¹⁰Pb using lichens and mosse around a uraniferous coal-fire power plant in western Turkey. *Atmospheric Environment*. **37**, 2237-2245 pp.
- H. Zechmeister. (1998).** Annual growth of four pleurocarpous moss species and their applicability for biomonitoring heavy metals. *Environ. Monit. Assess*. **52**, 441-451 pp.
- H.G. Zechmeister. (1995a).** Growth rates of five pleurocarpous moss species under various climatic conditions. *J. Bryol*. **18**, 455-468 pp.

Appendice

Stazione 1

Latitudine: 4920100

Longitudine: 624670

Note: Poiatica, ~ 300 m NW edificio e pesa.

Campionamento: muschio indigeno, muschio trapiantato, suolo



Figura I. Ubicazione e dettaglio delle attività presso la Stazione 1

Stazione 2

Latitudine: 4920066

Longitudine: 624628

Note: Poiatica, ~ 500 m SO di stazione pompaggio gas

Campionamento: muschio indigeno, suolo



Figura II. Ubicazione e dettaglio delle attività presso la Stazione 2

Stazione 3

Latitudine: 4920413

Longitudine: 624733

Note: Poiatica, ~ 1 km NNE da ingresso discarica, su stada esterna e a destra della discarica

Campionamento: muschio indigeno, muschio trapiantato, suolo



Figura III. Ubicazione e dettaglio delle attività presso la Stazione 3

Stazione 4

Latitudine: 4920013

Longitudine: 624642

Note: Poiatica, ~ 500 m W da ingresso discarica, a metà collina vicino ad alberi

Campionamento: muschio indigeno, muschio trapiantato, suolo



Figura IV. Ubicazione e dettaglio delle attività presso la Stazione 4

Stazione 5

Latitudine: 4935131

Longitudine: 635760

Note: Rio Riazzone, ~ 20 m SW della pesa, su collinetta da cui provengono i muschi trapiantati

Campionamento: muschio indigeno, suolo

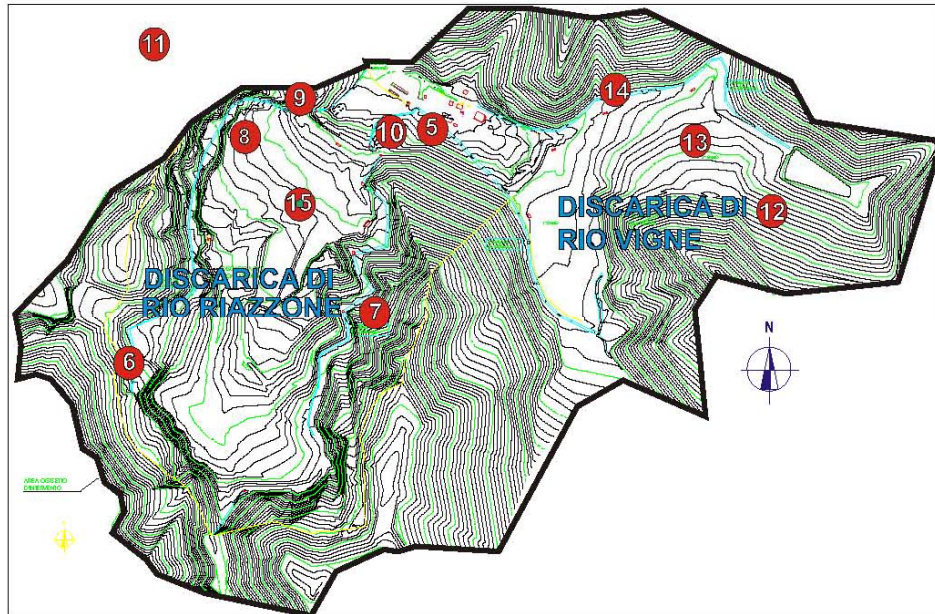


Figura V. Ubicazione e dettaglio delle attività presso la Stazione 5

Stazione 6

Latitudine: 4934676

Longitudine: 635326

Note: Rio Riazzone, ~ 300 m a W di corpo attivo della discarica, su crinale al limite della strada vicino ad alberi

Campionamento: muschio indigeno, muschio trapiantato, suolo

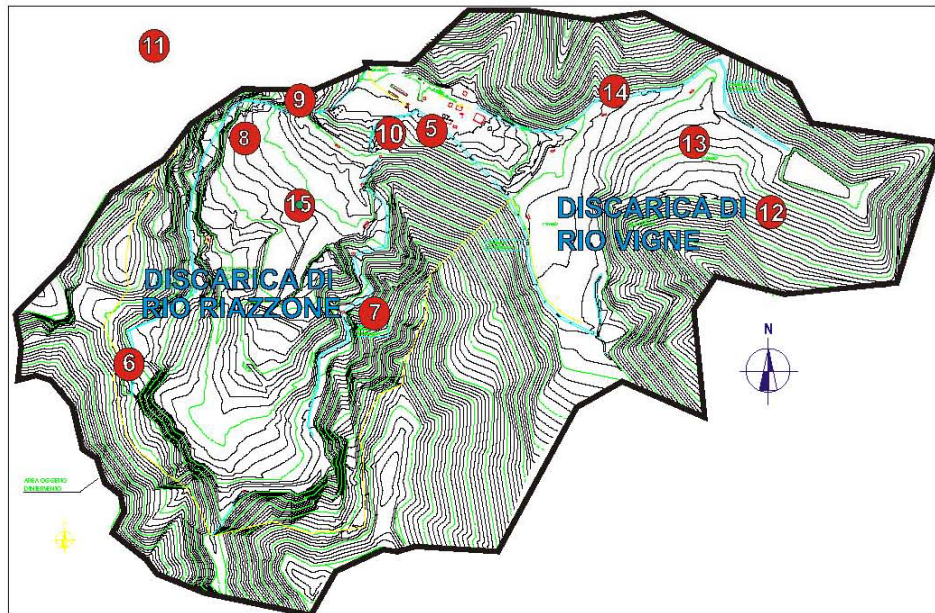


Fig. VI. Ubicazione e dettaglio della stazione 6

Stazione 7

Latitudine: 4934804

Longitudine: 635708

Note: Rio Riazone, ~ 200 m ENE di corpo discarica, su curva vicino a stazione pompe

Campionamento: muschio indigeno, muschio trapiantato, suolo

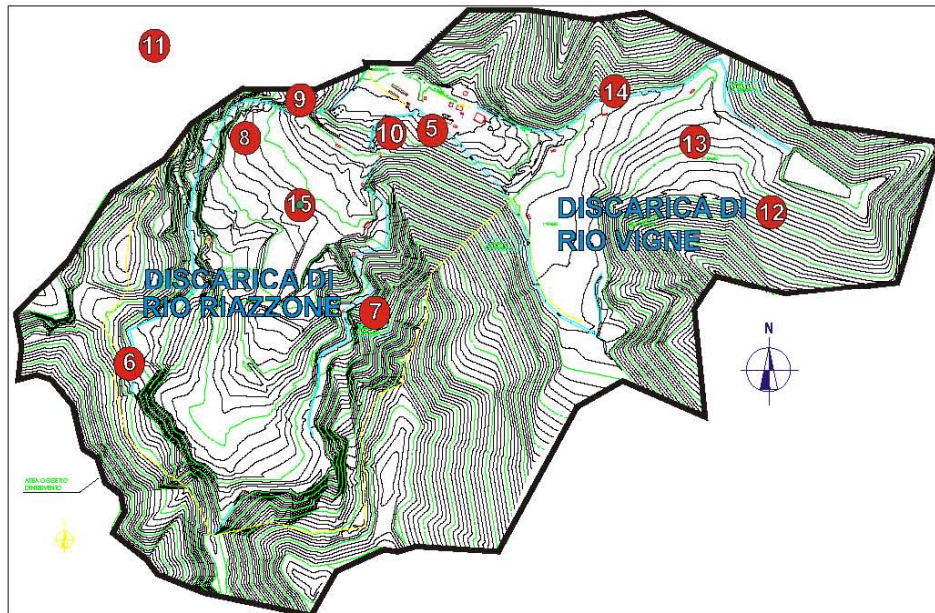


Fig. VII. Ubicazione e dettaglio della stazione 7

Stazione 8 nuova

Latitudine: 4935085

Longitudine: 635446

Note: Rio Riazzone, ~ 200 m a W della strada, nel bordo del corpo di discarica ricoperta (staz. pompe a 100 m E)

Campionamento: muschio trapiantato, suolo

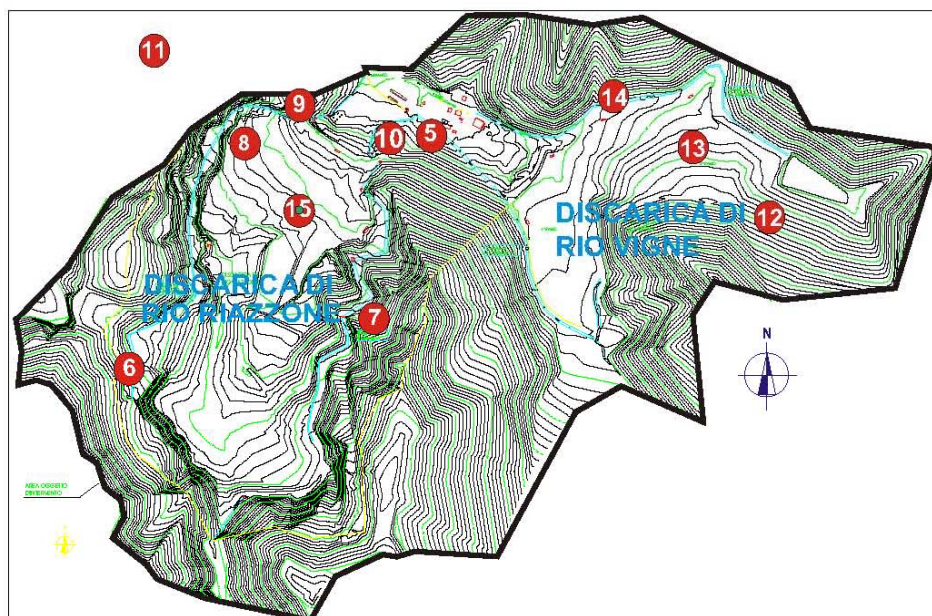


Figura VIII. Ubicazione e dettaglio delle attività presso la Stazione 8 nuova

Stazione 8

Latitudine: 4935030

Longitudine: 635497

Note: Rio Riazzone, ~ 200 m a W della strada, nel corpo di discarica ricoperta (staz. pompe a 150 m NE)

Campionamento: muschio trapiantato, suolo

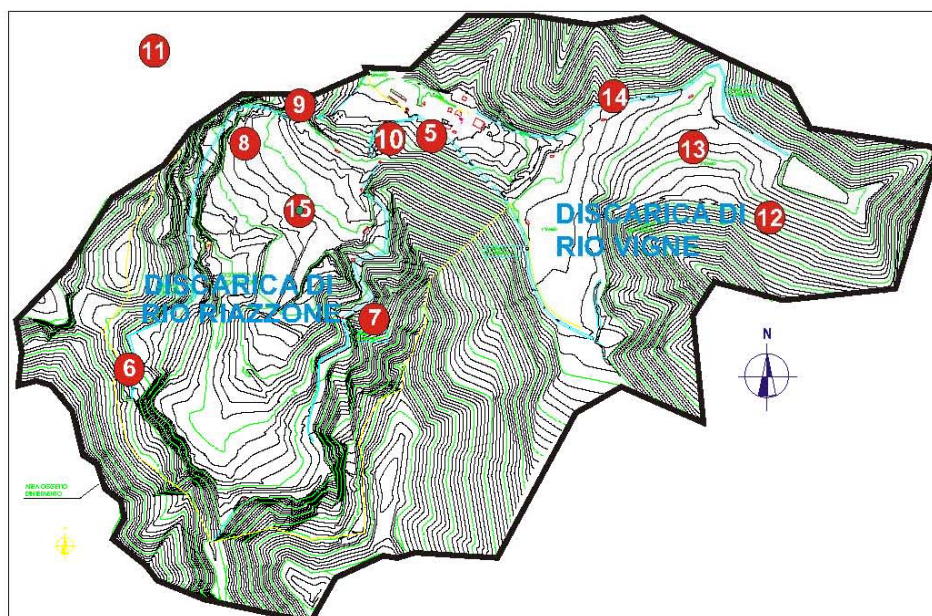


Figura IX. Ubicazione e dettaglio delle attività presso la Stazione 8

Stazione 9

Latitudine: 4935125

Longitudine: 635542

Note: Rio Riazzone, ~ 400 m WSW di ingresso, su collina al bordo della discarica

Campionamento: muschio indigeno, muschio trapiantato, suolo

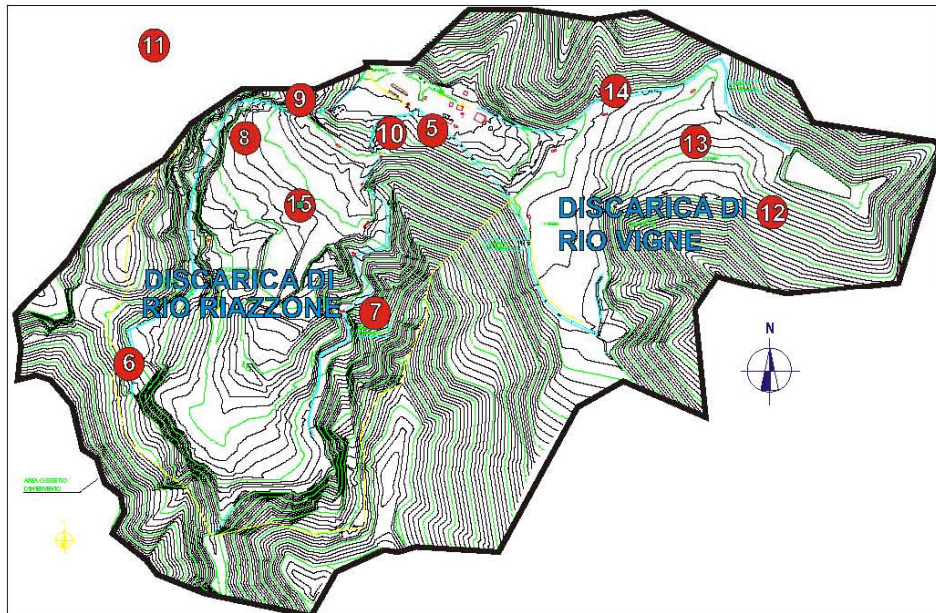


Fig. X. Ubicazione e dettaglio della stazione 9

Stazione 10

Latitudine: 4935109

Longitudine: 635677

Note: Rio Riazzone, ~ 40 m SSW del portone ingresso, 15 m da stradina a metà crinale

Campionamento: muschio indigeno, suolo

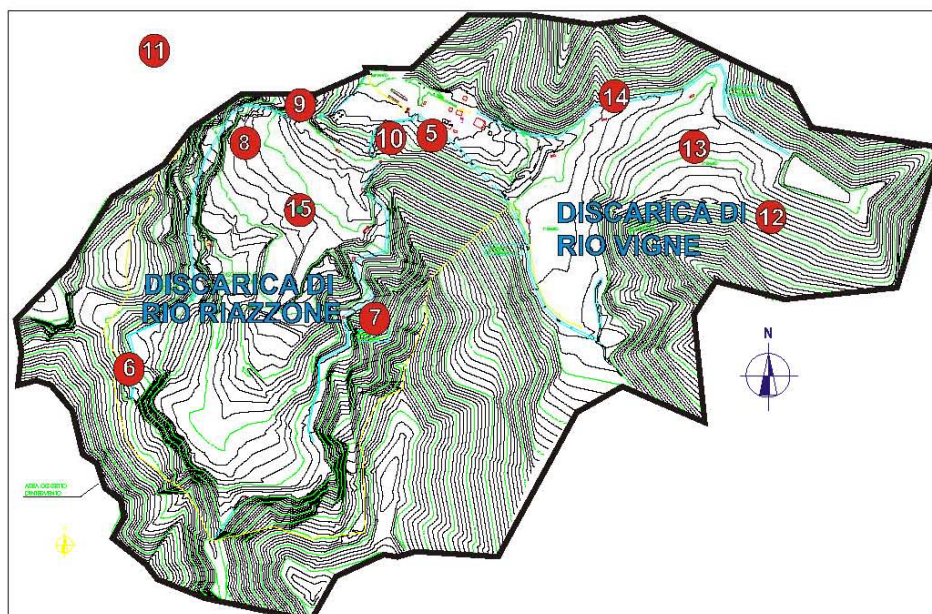


Figura XI. Ubicazione e dettaglio delle attività presso la Stazione 10

Stazione 11

Latitudine: 4935365

Longitudine: 635583

Note: Rio Riazzone, ~ 300 m prima di ingresso discarica, sentiero sterrato in salita a sinistra di strada

Campionamento: muschio indigeno, suolo (zona per background)

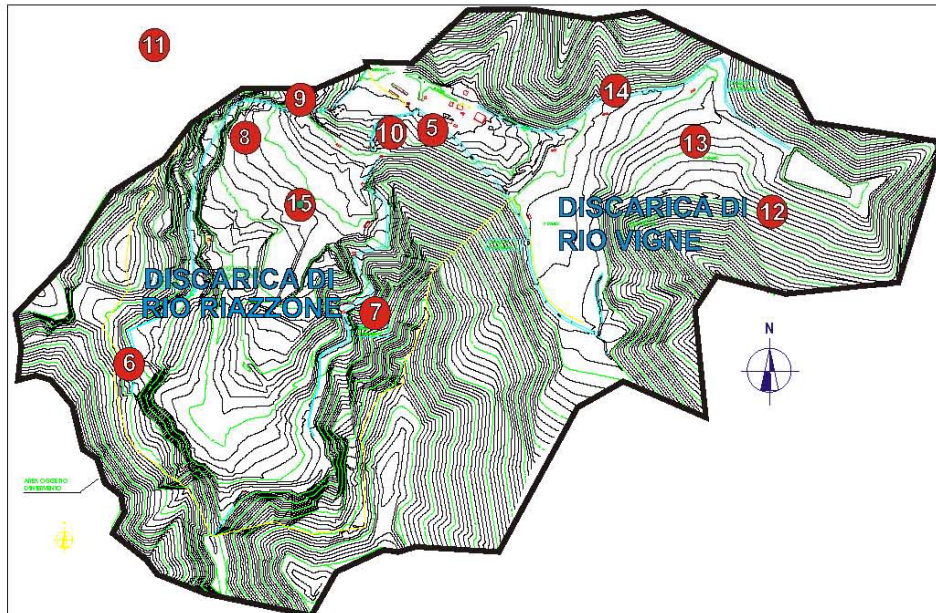


Fig. XII. Ubicazione e dettaglio della stazione 11

Stazione 12

Latitudine: 4935109

Longitudine: 636277

Note: Rio Vigne, a lato di discarica ricoperta, su pendio in prossimità alberi

Campionamento: muschio indigeno, suolo

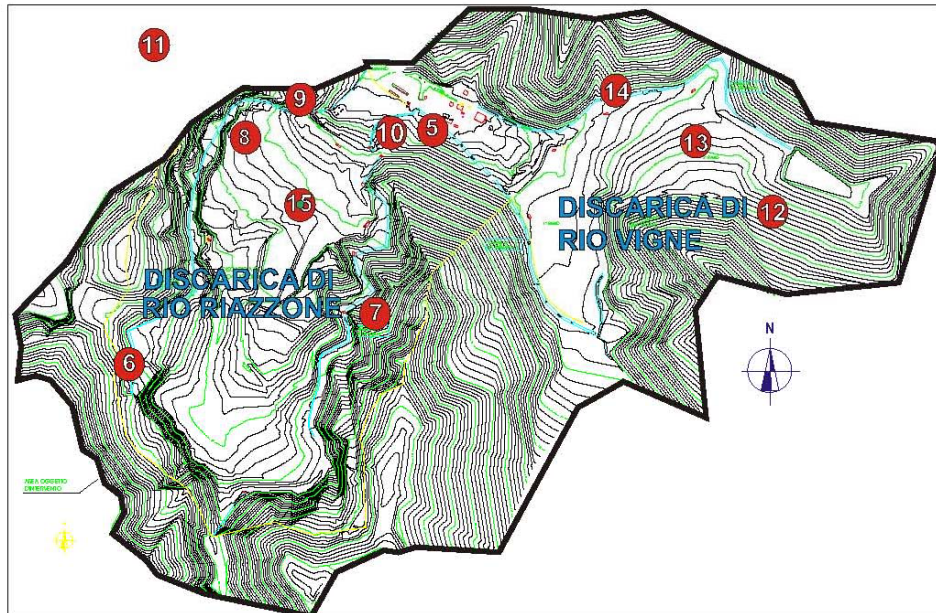


Figura XIII. Ubicazione e dettaglio delle attività presso la Stazione 12

Stazione 13

Latitudine: 4935180

Longitudine: 636200

Note: Rio Vigne, centro discarica ricoperta, ~200 m NW da stazione 12

Campionamento: muschio trapiantato, suolo

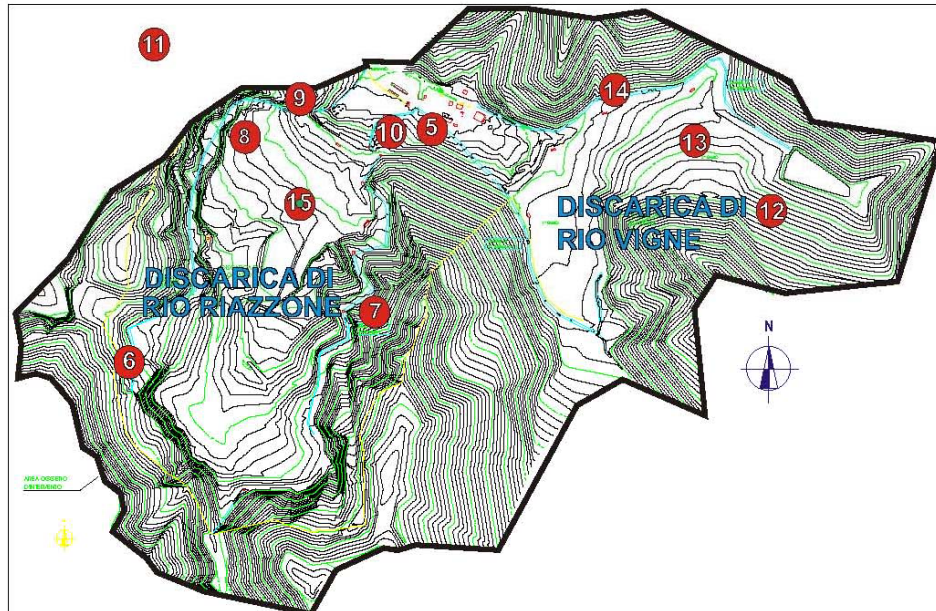


Figura XIV. Ubicazione e dettaglio delle attività presso la Stazione 13

Stazione 14

Latitudine: 4935282

Longitudine: 636099

Note: Rio Vigne, ~ 250 m NW da stazione 13, a destra di strada sterrata che gira intorno a corpo discarica

Campionamento: muschio indigeno, muschio trapiantato, suolo

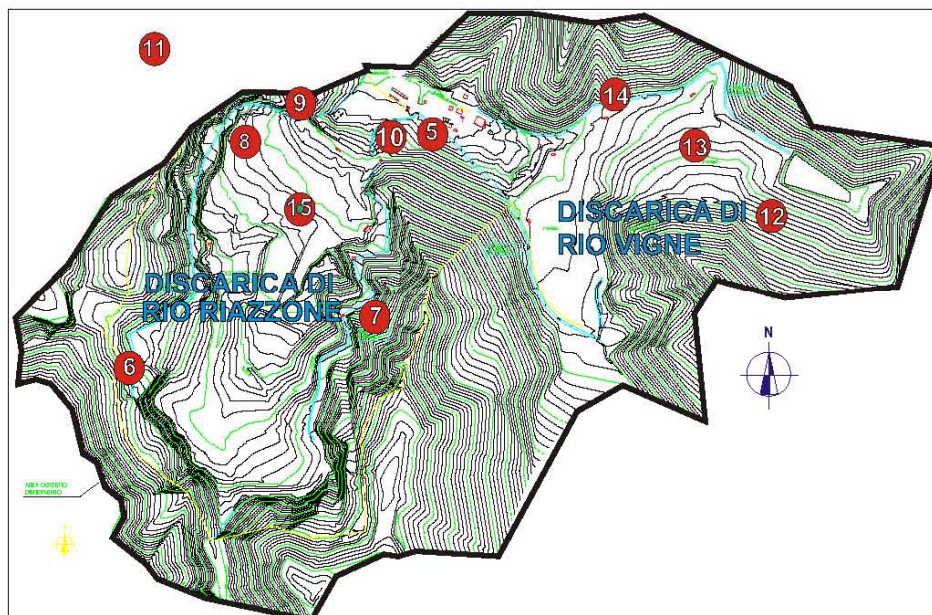


Fig. XV. Ubicazione e dettaglio della stazione 14

Stazione 15 nuova Latitudine: 4934942
Longitudine: 635644

Note: Rio Riazone, su linea NW-SE, a metà strada tra staz.7 e staz.8, nel bordo del corpo della discarica

Campionamento: muschio trapiantato, suolo

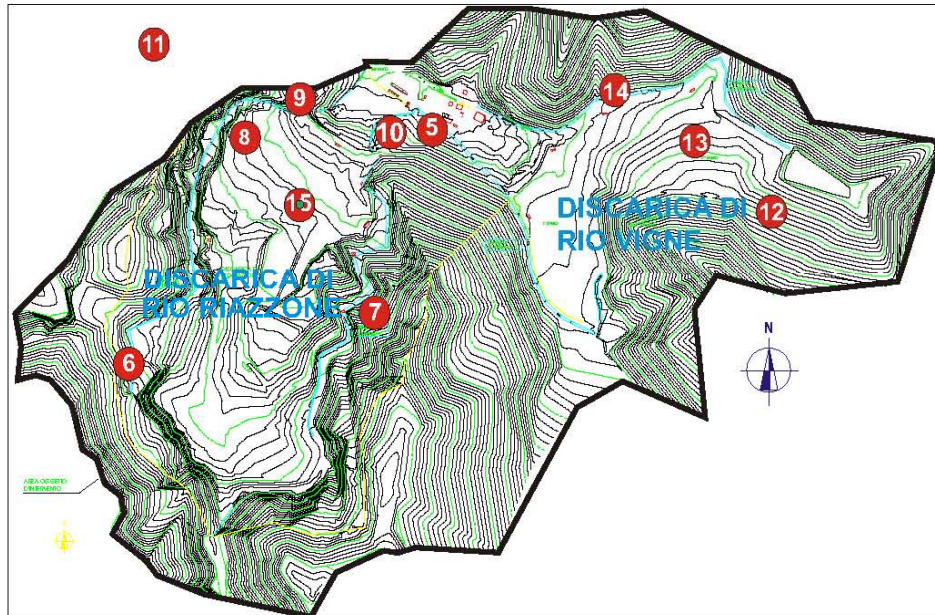


Fig. XVI. Ubicazione e dettaglio della stazione 15 nuova

Stazione 15

Latitudine: 4934884

Longitudine: 635591

Note: Rio Riazone, su linea NW-SE, a metà strada tra staz.7 e staz.8, nel corpo della discarica

Campionamento: muschio trapiantato, suolo

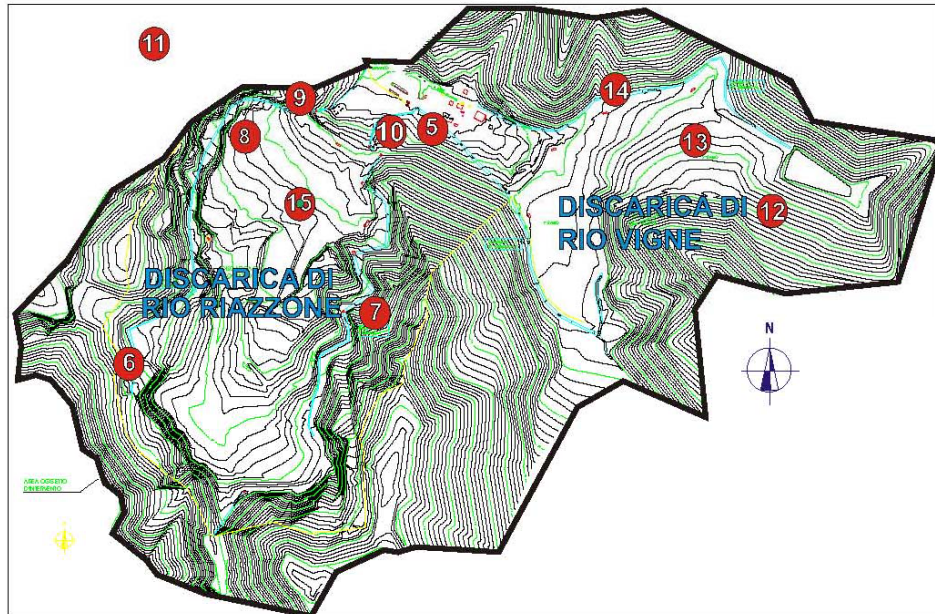


Figura XVII. Ubicazione e dettaglio delle attività presso la Stazione 15



Figura XVIII. Dettaglio della Stazione 1



Figura XIX. Dettaglio della Stazione 2



Figura XX. Dettaglio della Stazione 3



Figura XXI. Dettaglio della Stazione 4



Figura XXII. Dettaglio della Stazione 5



Figura XXIII. Dettaglio della Stazione 6



Figura XXIV. Dettaglio della Stazione 7



Figura XXV. Dettaglio della Stazione 8



Figura XXVI. Dettaglio della Stazione 9



Figura XXVII. Dettaglio della Stazione 10



Figura XXVIII. Dettaglio della Stazione 11



Figura XXIX. Dettaglio della Stazione 12



Figura XXX. Dettaglio della Stazione 13



Figura XXXI. Dettaglio della Stazione 14



Figura XXXII. Dettaglio della Stazione 15

The mission of Joint Research Centre is to provide customer-driven scientific and technical support for the conception, development, implementation and monitoring of European Union 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 92-894-9183-3

