



Dipartimento di Trieste



Provincia di Trieste

**BIOMONITORAGGIO SPERIMENTALE
DELLE RICADUTE AL SUOLO
NELLA PROVINCIA DI TRIESTE
DI METALLI IN TRACCIA AERODISPERSI
TRAMITE MUSCHI TRAPIANTATI
COME BIOACCUMULATORI**

RELAZIONE FINALE

2007

Nordio Miani

Nicola Skert

Roberto Grahonja

Iztok Valic

Anna Abatangelo

Tazio Asquini

1. RIASSUNTO.....	1
2. INTRODUZIONE	2
2.1 GENERALITÀ SUL BIOMONITORAGGIO:	2
2.2 USO DEI MUSCHI NEL BIOMONITORAGGIO.	4
2.3 SVILUPPO DEL BIOMONITORAGGIO TRAMITE MUSCHI IN EUROPA.....	5
2.4 SCOPO DELLA RICERCA	5
4. AREA DI STUDIO	6
3. MATERIALI E METODI	9
3.1 PRELEVAMENTO E TRAPIANTO DEL MUSCHIO.	9
3.2 PRELIEVO, TRATTAMENTO E ANALISI CHIMICHE DEL CAMPIONE	9
5. RISULTATI	11
5.1 ANALISI DEI SINGOLI METALLI	11
Alluminio	12
Cadmio	13
Cromo	16
Ferro.....	17
Manganese	18
Mercurio.....	19
Nichel	20
Piombo	21
Rame	22
Vanadio.....	23
Zinco	24
5.2 CARICO TOTALE DEI METALLI	25
6. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI.....	27
7. BIBLIOGRAFIA	28

1. RIASSUNTO

Si riportano i risultati di una campagna sperimentale di biomonitoraggio delle ricadute al suolo di metalli in traccia tramite muschi trapiantati come bioaccumulatori. E' stata allestita una rete pilota di campionamento di tipo sistematico su tutto il territorio della Provincia di Trieste, per un totale di 15 stazioni di rilevamento. Sono stati analizzati 12 metalli per ogni singolo campione. I risultati suggeriscono pattern diffusionali estesi solo nella porzione meridionale della provincia di Trieste, in cui si individuano 4 *hot spots* di ricadute: le stazioni presso Servola, Muggia, San Dorligo della Valle e Basovizza. La tipologia dei pattern di ricaduta suggeriscono come principale fonte emittente di metalli la ferriera di Servola, benchè studi più approfonditi siano necessari per avvallare questa ipotesi.

2. INTRODUZIONE

2.1 I metalli pesanti

Il termine metallo pesante si attribuisce a quegli elementi della tavola periodica che presentano le seguenti caratteristiche:

- possiedono una densità superiore ai 5.0 g/cm³;
- si comportano generalmente come cationi - ioni dotati di carica positiva - quando entrano in un campo elettromagnetico;
- presentano una bassa solubilità dei loro idrati;
- hanno una spiccata attitudine a formare complessi con composti organici;
- possiedono una grande affinità per i composti solforati, alterandone l'attività (i gruppi sulfidrilici -SH sono normalmente presenti negli enzimi che controllano, ad esempio, la velocità delle reazioni metaboliche del corpo umano);
- hanno diversi stati di ossidazione a seconda delle condizioni di pH.

I metalli pesanti sono componenti naturali della crosta terrestre e non possono essere degradati o distrutti: diverse attività umane ne provocano la mobilitazione, causandone l'accumulo nella biosfera e il loro ingresso nella catena alimentare, con danni spesso gravi per i viventi. Vegetali e animali possono infatti bioaccumulare i metalli pesanti concentrandoli nei propri tessuti: questo provoca effetti tossici a breve e a lungo termine, differenti a seconda del metallo e del suo quadro tossicologico relativamente caratteristico. La pericolosità maggiore risiede nel fatto che i metalli sono in grado di formare complessi con molti composti organici, causando danni renali, epatopatie, incremento di incidenza di tumori in diversi organi.

La Fig. 1 riporta la tavola periodica degli elementi di Mendeleev con evidenziati gli effetti tossici di alcuni metalli.

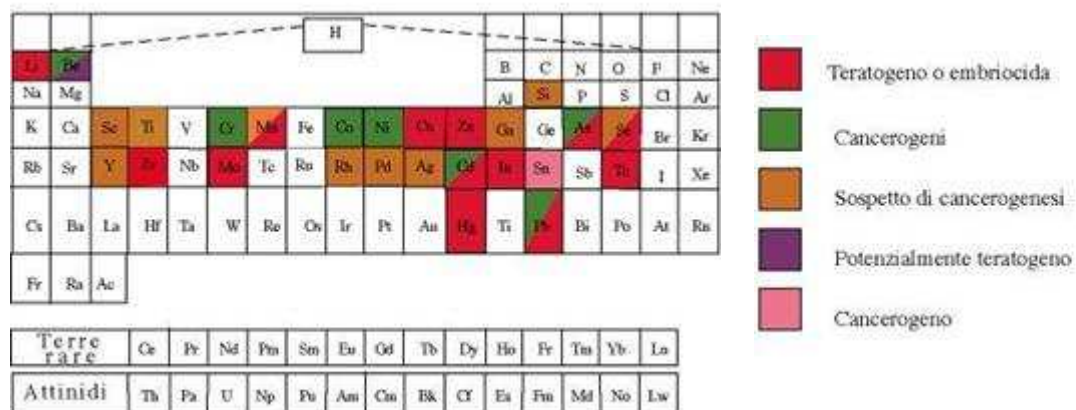


Fig. 1 Tavola periodica degli elementi di Mendeleev, con evidenziati gli effetti tossici di alcuni metalli (tratta da: www.igg.cnr.it/Geologia_e/GeologiaeSaluteText.htm)

2.2 Generalità sul biomonitoraggio

L'ambiente che ci circonda è interessato da una molteplicità di inquinanti. Infatti oltre quelli tradizionalmente considerati, quali CO, CO₂, SO₂, O₃ e NO_x, esiste un numero incalcolabile di altre sostanze di origine antropogenica in forma solida, liquida e gassosa. Esse sono in costante aumento e acquisiscono un'importanza sempre maggiore. Tra queste di grande rilevanza sono i metalli in traccia che, distribuiti nei comparti acqua, aria, suolo e biota, possono provocare seri problemi ai vegetali, agli animali e all'uomo. Infatti il loro accumulo può avere conseguenze imprevedibili e difficilmente calcolabili, ma comunque gravi (cancerogenesi, teratogenesi, ecc.).

Uno studio sull'immissione di metalli nei comparti, mostra che le attività umane giocano un ruolo decisivo nel ciclo globale di questi elementi (Nriagu, 1989). Tra le fonti principali di immissione si ricordano i fumi emessi dalle industrie, dalle centrali energetiche, dagli impianti di riscaldamento domestico e dai veicoli a motore.

Oltre ai livelli di inquinamento riscontrati nelle aree densamente popolate e industrializzate, è necessario considerare la dispersione dei metalli nell'atmosfera e il loro trasporto oltre i confini nazionali, in quanto capaci di raggiungere aree remote, prive di una pressione antropica diretta (AMAP, 1997).

L'analisi del suolo è tuttora prioritaria per valutare l'inquinamento da metalli in un'area, inoltre permette la valutazione dei fattori di arricchimento per una più adeguata interpretazione dei risultati ottenuti utilizzando i muschi quali bioindicatori. L'indagine attraverso i suoli presenta però il limite fondamentale che i risultati sono condizionati dalla composizione geologica delle rocce e potrebbero essere erroneamente interpretati. Così, alte concentrazioni di un elemento attribuite a contaminazione di origine antropica potrebbero invece dipendere dalla natura geochimica del territorio. La sola analisi chimica dei suoli non è quindi un metodo sufficiente per determinare con sicurezza il grado di contaminazione di un'area.

Informazioni più dettagliate e complete sugli effetti dell'inquinamento atmosferico si possono ottenere attraverso le analisi chimico-fisiche dirette dell'aria affiancate da test biologici. In anni recenti i ricercatori, in particolare quelli nordeuropei hanno considerato dei metodi che rendessero possibile valutare la deposizione dei metalli e registrarne il loro accumulo nei sistemi biologici, per ottenere una corretta informazione su larga scala e a costi contenuti.

Si è così introdotto il concetto di «biomonitoraggio», cioè il monitoraggio dell'inquinamento effettuato mediante organismi viventi. In genere ogni organismo vivente possiede una risposta ai diversi fattori ecologici, sia naturali che antropici, e poiché l'inquinamento atmosferico determina delle variazioni nell'ambiente interessato, queste si riflettono sugli organismi viventi.

2.3 Uso dei muschi nel biomonitoraggio ambientale.

I muschi sono organismi fotosintetizzanti che vivono in ambiente subaereo e, solo in pochi casi, in acqua dolce. Sono ampiamente distribuiti in una grande varietà di habitat, in parte sul terreno, sui sassi e sulle rocce, sulle foglie, sui tronchi e sui rami degli alberi.

I muschi sono molto importanti dal punto di vista ecologico, in quanto possiedono delle esigenze limitate, cosicchè possono insediarsi in ambienti da colonizzare, dove la maggior parte degli organismi non è in grado di sopravvivere. La presenza di muschi sul terreno costituisce un fattore di primaria importanza nell'assorbimento dell'acqua piovana, con il duplice risultato di ridurre o eliminare il pericolo del ruscellamento, e di cedere progressivamente l'acqua trattenuta al terreno.

I muschi non posseggono né tessuti di conduzione legnosi né tessuti di sostegno lignificati, di conseguenza l'assorbimento dell'acqua avviene attraverso tutta la loro superficie. Le briofite in disidratazione non muoiono, ma entrano in quiescenza e, se nuovamente bagnate, ritornano a svolgere le loro funzioni vitali.

Alla fine degli anni 60, scienziati svedesi utilizzano i muschi per valutare l'inquinamento da metalli pesanti in Scandinavia (Rühling & Tyler, 1970). Dopo di allora l'uso di tali organismi per scopi di monitoraggio ambientale si è sistematicamente esteso.

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

Le principali caratteristiche che rendono le briofite adatte ad essere utilizzate come bioaccumulatori per la deposizione dei metalli in traccia atmosferici, possono essere così riassunte:

- Sono generalmente prive di una cuticola protettiva e di una spessa parete cellulare; ciò rende i loro tessuti facilmente permeabili all'acqua e ai minerali, inclusi gli ioni metallici,
- I loro tessuti (costituenti della parete cellulare) hanno numerosi siti attivi (gruppi carichi negativamente) che agiscono come efficienti scambiatori cationici (Bargagli, 1998). E' lecito supporre la presenza di gruppi con particolare affinità per i cationi metallici (agenti chelanti).
- Il loro rifornimento minerale è ottenuto principalmente dalle deposizioni di particelle e di sali solubili. Il substrato riveste poca o nessuna importanza nell'apporto di minerali.
- La formazione di nuova biomassa, per altro scarsa, avviene sulla sommità di quella vecchia, precludendo qualsiasi contatto o interazione con il suolo o il substrato.

- In certe specie di muschi come *Hylocomium splendens* e nel genere *Sphagnum*, è possibile riconoscere e separare gli incrementi annuali di crescita, facilitando la determinazione dell'età e il tempo di esposizione del materiale usato.
- Ad eccezione di alcune specie, non sembra esservi alcuna traslocazione di metalli pesanti tra segmenti adiacenti o dalla vecchia biomassa a quella in via di sviluppo.
- Molte specie sono largamente diffuse (cosmopolite o circumpolari) in determinati habitat.
- Grazie alla loro longevità, le briofite possono essere utilizzate per valutare le deposizioni durante più anni, però a seconda della specie e dei metodi di campionamento utilizzati.

2.4 Sviluppo del biomonitoraggio tramite muschi in Europa.

Alla fine degli anni '60 gli scienziati svedesi Rühling e Tyler utilizzarono i muschi per valutare l'inquinamento da metalli pesanti, e Pb in particolare, in Scandinavia. Da allora ai giorni nostri il numero di lavori, di aree indagate e di pubblicazioni è cresciuto enormemente, introducendo procedure standardizzate su scala sovranazionale: al progetto di Rühling (1994) hanno partecipato 28 nazioni europee con 8243 campioni di muschio raccolti per valutare le ricadute al suolo di 10 elementi.

Contrariamente al resto dell'Europa in Italia tale tecnica viene utilizzata da pochi anni. Il gruppo del dott. Cenci dell'Istituto dell'Ambiente del Centro Comune di Ricerca di Ispra ha condotto i primi studi nella provincia di La Spezia (Cenci et al., 1995). Da allora anche in Italia sono proliferati gli studi di questo tipo. Nel 95-96 il nostro Paese ha aderito al progetto europeo di Rühling (1994) con 140 stazioni dislocate nelle aree montuose delle regioni settentrionali.

Negli ultimi anni sono state coinvolte in campagne di biomonitoraggio con muschi varie regioni, tra cui: Piemonte, Valle d'Aosta, Liguria, Lombardia, Trentino Alto Adige, Toscana, Emilia Romagna, Marche, Umbria, Campania, Calabria, Sicilia, Sardegna.

2.5 Scopo della ricerca

Nel presente lavoro è stato scelto di adottare la metodica di bioaccumulo di metalli in traccia tramite muschi trapiantati. Lo studio ha carattere sperimentale e il suo scopo è verificare l'applicabilità di una rete di biomonitoraggio di tipo sistematico su scala provinciale.

Il muschio trapiantato può essere inteso come la «memoria presente», in quanto fornisce indicazioni che riguardano le deposizioni avvenute dal momento del trapianto sino al periodo di raccolta. Il principale vantaggio della tecnica del trapianto è la possibilità di valutare nel tempo le ricadute al suolo di elementi in traccia in centri abitati ed aree ad alta pressione antropica.

3. AREA DI STUDIO

Il territorio considerato nello studio corrisponde alla parte centrale della Provincia di Trieste. La Fig. 1 mostra l'area di studio con indicate le posizioni delle 15 stazioni di campionamento della Rete Sperimentale per lo studio di accumulo di metalli. L'area di studio può venire suddivisa in due distretti principali:

- a) altopiano carsico, che dai 300 m di altitudine degli abitati di Gropada e Padriciano, si innalza progressivamente verso Est, raggiungendo i 565 m in corrispondenza del M. Cocusso. L'altopiano carsico, caratterizzato da substrato calcareo, è oggi largamente occupato da una boscaglia dominata da specie submediterranee e centroeuropee. Sono presenti piccoli centri urbani e numerose arterie stradali, rilevanti o secondarie;
- b) la conca di Trieste comprende l'area urbana periferica residenziale e la zona industriale del capoluogo, il porto e altre frazioni minori del comune di Trieste e S. Dorligo. La parte costiera pianeggiante presenta elevazioni inferiori ai 100 m, ed è circondata da una serie di rilievi precarsici; il substrato prevalente è il Flysch arenaceo-marnoso;

Dal punto di vista climatico l'area di studio presenta un clima di transizione tra il tipo mediterraneo e quello continentale-prealpino, caratterizzato da inverni piovosi, da estati relativamente secche, e da una estrema fugacità delle stagioni di trapasso (primavera e autunno). La piovosità cresce rapidamente dalla costa verso l'interno; pur mantenendosi su valori abbastanza elevati (ca. 1000 mm all'anno presso la costa, sino a 1600 mm nelle stazioni più interne del Carso Triestino) essa viene contrastata dalla grande percolabilità dei substrati calcarei e dal vento freddo e secco di Bora. Mentre il clima della zona costiera è essenzialmente marittimo-mediterraneo, quello dell'altopiano presenta caratteri di maggiore continentalità.

Per quel che riguarda il grado di antropizzazione, l'area di studio si caratterizza per una situazione estremamente dinamica e diversificata: da un lato l'altopiano carsico, un tempo sfruttato intensamente per il pascolo e, in misura minore, per l'agricoltura, è oggi soggetto ad un rapido processo di rimboschimento naturale che tende a sostituire la landa carsica di origine antropozoogena. Per quanto quest'area sia intersecata da numerose vie di scorrimento (ferrovie, autostrada, una fitta rete viaria, oleodotto), essa pur tuttavia mantiene in molte parti caratteri di spiccata naturalità. Gli insediamenti industriali propriamente detti sono scarsissimi e gli insediamenti urbani sono in genere di piccole dimensioni. La situazione cambia rapidamente nella conca di Trieste, che risulta invece fortemente urbanizzata, anche se nell'area industriale si ha uno scarso insediamento di industrie di trasformazione, e quindi di potenziali fonti emittenti sostanze inquinanti.

La strategia di rilevamento dei metalli è prevalentemente di tipo sistematico e ricalca la Rete Provinciale di rilevamento della IBL (Indice di Biodiversità Lichenica), in modo tale da poter eventualmente confrontare i dati stazionali e la loro interpretazione in termini di alterazione ambientale. Sono state individuate 15 stazioni di rilevamento localizzate nel territorio come da Fig. 1. In Tab. 1 si riporta la localizzazione delle stazioni e le coordinate dei punti secondo il sistema metrico

UTM da WGS84. Il campionamento è stato eseguito tra settembre e novembre 2007, per un periodo di esposizione dei campioni pari a 60 giorni.

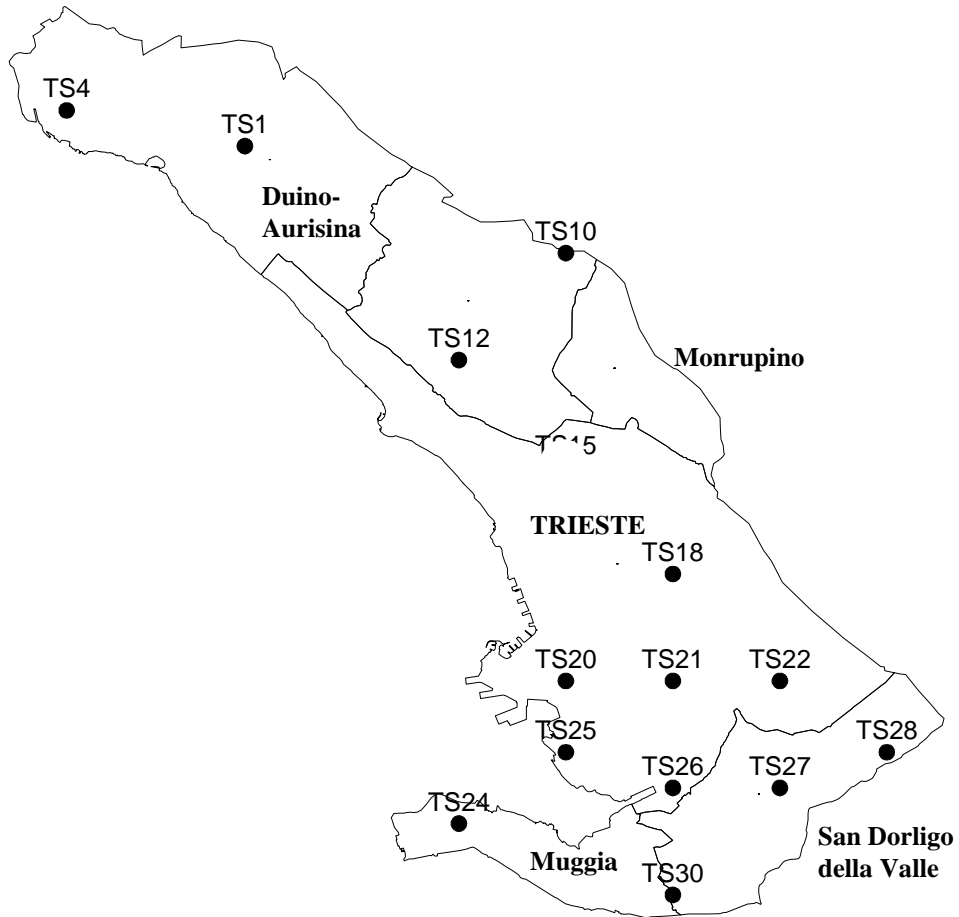


Fig. 1 Area di studio e localizzazione delle 15 stazioni di campionamento nei 6 Comuni della Provincia di Trieste

Stazione	Località - Comune	Longitudine	Latitudine	Alt
1	Slivia – Duino Aurisina	396000	5070000	170
4	Villaggio del Pescatore – Duino Aurisina	391000	5071000	27
10	Monte Lanaro – Sgonico	405000	5067000	450
12	Prosecco – Trieste	402000	5064000	220
15	Opicina – Trieste	405000	5051000	302
20	Piazza Garibaldi – Trieste	405000	505500	43
21	Cattinara – Trieste	408000	505500	180
22	Basovizza – Trieste	411000	505500	360
24	Molo Balotta – Muggia	402000	505100	100
25	Servola – Trieste	405000	505300	8
26	Zona industriale – Trieste	408000	505200	10
27	Dolina – San Dorligo della Valle	411000	505200	66
28	Pesek – San Dorligo della Valle	414000	505300	434
30	Valle delle Noghere – Muggia, S. Dorligo della V.	408000	504900	5

**Tab. 1 Stazioni di campionamento utilizzate per il monitoraggio di IPA. Alt= altitudine s.l.m.,
Coordinate geografiche espresse in UTM (WGS 84)**

4. MATERIALI E METODI

4.1 Prelevamento e trapianto del muschio.

Nel presente studio sono stati utilizzati muschi trapiantati della specie *Pleurozium schreberi*. Il protocollo di campionamento segue le linee guida proposte da Cenci (1998).

Il prelevamento del muschio da trapiantare è stato eseguito sul Monte Cocco nel Comune di Ugovizza-Valbruna, a 1400 metri s.l.m. La raccolta del muschio è stata eseguita raccogliendo anche parte del substrato ricoprendo interamente 5 cassette di plastica di misura 30x50 cm per 15 cm di altezza. Una volta in laboratorio sono stati reidratati spruzzando sulla loro superficie acqua deionizzata. Il trapianto è stato effettuato in zona d'ombra, privilegiando il versante a nord; in mancanza di ombra è stato costruito un riparo verticalmente al piano dei muschi utilizzando reti in materiale plastico notoriamente utilizzati per consentire il filtraggio dell'aria ma impedire il passaggio dei raggi solari; il muschio è stato posizionato allo stesso livello del suolo, evitando il contatto diretto con lo stesso. Per garantire le migliori condizioni di sopravvivenza il muschio è stato posizionato in periodo autunno-invernale, quando le condizioni di temperatura e umidità sono più simili a quelle di origine del muschio. Inoltre per mantenere una condizione di idratazione ottimale, il muschio è stato innaffiato, in assenza di acqua piovana, due volte a settimana con acqua deionizzata.

4.2 Prelievo, trattamento e analisi chimiche del campione

Per ogni campione circa 2 grammi di muschio, corrispondente alla parte verde per una lunghezza massima di circa 5 cm, sono stati prelevati e lavati in acqua deionizzata dalle 3 alle 5 volte al fine di rimuovere eventuale materiale estraneo. Il tutto è stato disposto in un contenitore di vetro sufficientemente largo da non comprimerlo e favorire la libera circolazione dell'aria e posto in stufa per 48 ore a 45°C. Successivamente il muschio così trattato è stato posto in sacchetto di plastica e lasciato in congelatore a -80°C per almeno 24 ore, al fine di favorire la successiva fase di polverizzazione e omogeneizzazione del campione che è stata eseguita percolando con un pestello il sacchetto. Il campione così trattato è pronto per la successiva fase di mineralizzazione e analisi in Assorbimento Atomico.

Per determinare il peso secco, una porzione di circa 10 grammi di fusticini sono stati prelevati e lavati con analoghi procedimenti e pesati dopo una permanenza di 48 ore in stufa a 45°C. Successivamente un'aliquota del campione pari a circa 5 grammi è stato posto in stufa per 24 ore a 105°C e pesati nuovamente.

Per la mineralizzazione è stata pesata una quantità di 0,25 g di muschio nel vessel in teflon del microonde e successivamente a questa è stato aggiunto 0,5 ml di H₂O deionizzata, lasciando il tutto a riposo per 30 minuti.

Dopo l'aggiunta di 9 ml di HNO₃ al 67-70% soprapuro per assorbimento atomico, il vessel è stato posto nel microonde avviando il seguente programma termico: rampa di temperatura fino a 185° in 10 minuti, mantenimento a tale temperatura per 15 minuti e raffreddamento di 25 minuti. Dopo la fase di mineralizzazione si è lasciato il campione in microonde a riposo per una notte. Il contenuto di acido della soluzione è stato ridotto mediante un successivo programma di evaporazione eseguito sempre nel forno a microonde.

Dopo il raffreddamento, la soluzione limpida è stata trasferita in matraccio tarato da 50 ml, portata a volume con acqua deionizzata e lasciata decantare per una notte.

E' seguita quindi la determinazione in spettrofotometria di assorbimento atomico, in fiamma per Fe, Mn e Zn, in fornello di grafite per Al, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e V e con riduzione con cloruro stannoso per Hg.

Infine le concentrazioni dei metalli sono state corrette per il contenuto d'acqua dei muschi.

4.3 Elaborazione dei dati

Le elaborazioni sono state eseguite in modo tale da ridurre il margine di soggettività nell'interpretazione dei dati. La distribuzione delle concentrazioni di metalli sul territorio è stata riportata sotto forma di carte, ottenute con programmi di cartografia computerizzata (SURFER 8 per Windows, Golden Software Inc. 2002). Le carte sono basate su una griglia le cui maglie hanno dimensioni calcolate sulle coordinate estreme dei dati. Il metodo di interpolazione, che crea una maglia regolare a partire da punti (stazioni) disposti irregolarmente sul territorio, attribuisce a ciascun nodo un valore che dipende da quelli delle n stazioni più vicine, sulla base dell'inverso della distanza tra ciascun nodo e le stazioni circostanti, elevato al quadrato (Inverse Distance to a Power). Data la relativamente bassa densità di stazioni queste carte vanno comunque considerate solo come un mezzo per visualizzare i risultati più rilevanti, ed evidenziare eventuali patterns geografici.

5. RISULTATI

In Tab. 2 si riportano i risultati delle analisi spettrofotometriche di 11 metalli nelle 14 stazioni di campionamento e nel bianco di riferimento. Per quanto concerne il mercurio, in tutte le stazioni di rilevamento la concentrazione individuata nei muschi è stata inferiore al limite di rilevabilità strumentale, per cui questo elemento verrà escluso dalle successive analisi. In Tab. 3 si riportano il Fattore di Accumulo (FA) per ogni singolo metallo, inteso come rapporto tra il valore riscontrato in ogni stazione di campionamento con il bianco di riferimento. Questo metodo consente una migliore comparazione tra i metalli, nonchè di verificare effettivamente quanto il muschio abbia accumulato durante il periodo di esposizione. Le successive rappresentazioni cartografiche sono state elaborate sulla base dei fattori di accumulo.

Stazioni	Al	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn
TS1	1398	0,5	0,12	1,7	8,8	<0,2	861	250	1,6	5,5	2,6	39
TS4	764	0,36	0,14	1,4	10,3	<0,2	542	223	1,3	3,9	2	48
TS10	2729	1,04	0,14	2,7	9,2	<0,2	1404	289	3,4	4,7	4,7	38
TS12	2143	0,63	0,14	2,6	8,6	<0,2	1090	177	2,1	5,1	3,5	42
TS15	2301	0,74	0,25	3,9	9,8	<0,2	1268	210	2,6	5,5	4,3	37
TS20	2310	0,95	0,18	3,6	13,6	<0,2	1435	212	3,9	7,4	4,1	60
TS21	760	0,32	0,12	1,8	12,4	<0,2	599	224	2	4,4	2	48
TS22	4700	1,69	0,35	7,5	11,1	<0,2	2623	250	5,5	5,2	10,6	40
TS24	5219	1,97	0,22	11,4	21,6	<0,2	3370	144	10,1	17,3	13	78
TS25	4796	1,47	0,19	6,5	12,9	<0,2	3831	339	5,9	10,2	8,8	62
TS26	2096	0,77	0,22	4,3	17	<0,2	1583	318	3,8	7,9	4,7	77
TS27	3276	1,83	0,24	7,6	25,1	<0,2	2703	243	7,4	21	9,3	86
TS28	3092	0,99	0,27	8,6	9,2	<0,2	1580	339	3,8	6,6	6,7	43
TS30	1547	0,52	0,16	3,4	13,3	<0,2	878	284	2,9	7,4	3	42
BIANCO	629	0,3	0,14	1,4	9	<0,2	450	167	1,5	3,6	1,4	45
Min *	760	0,32	0,12	1,4	8,6	n.d	542	144	1,3	3,9	2	37
Max *	5219	1,97	0,35	11,4	25,1	n.d	3831	339	10,1	21	13	86
Dev. St. *	1433,54	0,55	0,07	3,04	4,99	n.d	1032,75	58,31	2,46	5,06	3,47	16,77

Tab. 2. Valori di concentrazione di 11 metalli riscontrati nei muschi delle 14 stazioni di rilevamento e nel bianco di riferimento. I valori sono espressi in ppm.

*= escluso il bianco, n.d= non determinato

Stazioni	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	V	Zn	CT
TS1	2,22	1,67	0,86	1,21	0,98	1,91	1,50	1,07	1,53	1,86	0,87	1,42
TS4	1,21	1,20	1,00	1,00	1,14	1,20	1,34	0,87	1,08	1,43	1,07	1,14
TS10	4,34	3,47	1,00	1,93	1,02	3,12	1,73	2,27	1,31	3,36	0,84	2,22
TS12	3,41	2,10	1,00	1,86	0,96	2,42	1,06	1,40	1,42	2,50	0,93	1,73
TS15	3,66	2,47	1,79	2,79	1,09	2,82	1,26	1,73	1,53	3,07	0,82	2,09
TS20	3,67	3,17	1,29	2,57	1,51	3,19	1,27	2,60	2,06	2,93	1,33	2,33
TS21	1,21	1,07	0,86	1,29	1,38	1,33	1,34	1,33	1,22	1,43	1,07	1,23
TS22	7,47	5,63	2,50	5,36	1,23	5,83	1,50	3,67	1,44	7,57	0,89	3,92
TS24	8,30	6,57	1,57	8,14	2,40	7,49	0,86	6,73	4,81	9,29	1,73	5,26
TS25	7,62	4,90	1,36	4,64	1,43	8,51	2,03	3,93	2,83	6,29	1,38	4,08
TS26	3,33	2,57	1,57	3,07	1,89	3,52	1,90	2,53	2,19	3,36	1,71	2,51
TS27	5,21	6,10	1,71	5,43	2,79	6,01	1,46	4,93	5,83	6,64	1,91	4,37
TS28	4,92	3,30	1,93	6,14	1,02	3,51	2,03	2,53	1,83	4,79	0,96	3,00
TS30	2,46	1,73	1,14	2,43	1,48	1,95	1,70	1,93	2,06	2,14	0,93	1,81
Min	1,21	1,07	0,86	1,00	0,96	1,20	0,86	0,87	1,08	1,43	0,82	1,14
Max	8,30	6,57	2,50	8,14	2,79	8,51	2,03	6,73	5,83	9,29	1,91	5,26
Dev. St	2,28	1,83	0,48	2,17	0,55	2,29	0,35	1,64	1,40	2,48	0,37	1,29
Media	4,22	3,28	1,40	3,42	1,45	3,77	1,50	2,68	2,22	4,05	1,17	2,65

Tab. 3. Fattori di Accumulo (FA), minimi, massimi, medie e deviazioni standard relativi ad ogni metallo nelle 14 stazioni di campionamento.

5.1 Analisi dei singoli metalli

Alluminio

E' il terzo elemento per abbondanza nella crosta terrestre e, data la sua bassa tossicità, è stato incluso solo per valutare la contaminazione terrigena dei campioni. Viene impiegato per la produzione di leghe leggere nella costruzione di veicoli, aerei, navi ecc., di vernici e per pellicole di Alluminio, come mordente nella colorazione di fibre tessili, e come impermeabilizzante. L'alluminio può essere tossico per gli organismi acquatici. Si ritiene inoltre che la solubilizzazione dell'alluminio presente nel suolo, causata dalle piogge acide, contribuisca all'essiccamento delle piante, in quanto il metallo può interferire con l'assorbimento delle sostanze nutritive da parte delle radici.

Il valore minore di Al nell'area di studio è stato riscontrato nella stazione situata presso l'Ospedale Cattinara di Trieste (TS21, 760 ppm, FA=1,21), il massimo presso il Molo Balotta nel comune di Muggia (TS24, 5219 ppm, FA=8,30). In Fig. 2 si riportano i pattern di ricaduta di questo elemento nella Provincia di Trieste. Il fattore di accumulo medio, pari a 4,22 (Tab. 3), è il più elevato tra tutti i metalli analizzati suggerendo ricadute diffuse su tutto il territorio indagato. Si individuano due aree di ricadute principali, una nella porzione sud-occidentale, l'altra nella porzione sud-orientale. In ordine decrescente di valori, si individuano 4 principali *hot spots*, rappresentati dalla succitata stazione di Muggia (TS24), Servola (TS25, FA=7,62), Basovizza (TS22, FA=7,47) e Dolina (TS27, FA=5,21).

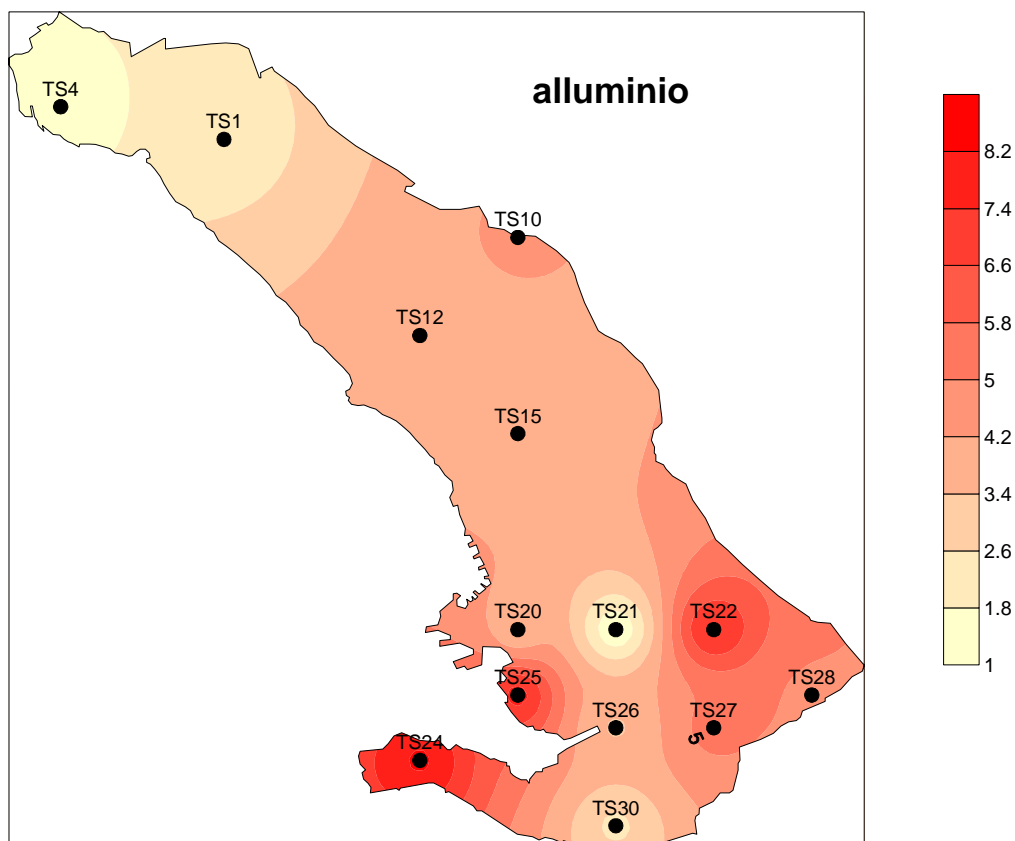


Fig. 2. Carta di distribuzione di Al nei muschi analizzati nella Provincia di Trieste. I valori sono espressi in FA (Fattore di Accumulo).

Arsenico

L'arsenico è un elemento altamente tossico e la sua dose mortale per l'uomo è inferiore a 0,1 grammi. Può provocare avvelenamento cronico (arsenicismo). Si trova raramente allo stato nativo; i minerali che ne sono più ricchi sono l'arsenopirite (FeAsS), il realgar (As_2S_2), l'orpimento (As_2S_3) e l'arsenolite (As_2O_3); accompagna, allo stato elementare ed in piccola quantità, vari metalli nei loro minerali, specialmente Cu, Pb, Ag e Hg. L'arsenico presenta tre forme allotropiche: quello grigio è stabile, mentre quello nero e quello giallo sono molto instabili. Riscaldando l'arsenopirite si ottengono solfuro di ferro ed arsenico puro. L'arsenico viene aggiunto al piombo allo scopo di ottenere una lega molto dura che viene usata per fabbricare pallini da caccia. Diversi suoi derivati organici vengono usati in medicina. Fino alla seconda guerra mondiale l'arsenico e diversi suoi composti sono stati utilizzati come erbicidi ed insetticidi. In seguito tali sostanze sono state affiancate da altri tipi di pesticidi, sia a causa della loro elevata tossicità per l'uomo e gli animali ai livelli di dosaggio utilizzati, sia perché l'arsenico, non essendo biodegradabile, diventa un inquinante ambientale. Altre fonti ambientali sono la sua liberazione durante l'estrazione dell'oro e del piombo (nei cui minerali è normalmente presente), l'utilizzo di carbone e di composti del fosforo da esso contaminati, la lisciviazione da miniere aurifere abbandonate. L'acqua potabile e

molti alimenti contengono piccole quantità di arsenico, che, in tracce, risulta essenziale per la salute dell'uomo, in quanto agisce come stimolante della crescita. A più alte concentrazioni, però, è cancerogeno: la sua inalazione e probabilmente la sua ingestione causano cancro al polmone, agendo in sinergismo con il fumo; la sua ingestione provoca cancro della cute e del fegato, e probabilmente della vescica e dei reni. Non è ancora noto se le concentrazioni minime ambientali siano nocive per l'uomo. L'effetto letale dell'arsenico in dose massiva è dovuto ad un danno gastrointestinale che sfocia in vomito e diarrea di grave entità. In Italia nell'acqua potabile la concentrazione massima ammissibile è di 10 µg/l (D.lgs. 31/01).

Il valore minimo di As è stato riscontrato nella stazione di campionamento situata presso l'Ospedale di Cattinara (TS21, 0,32 ppm, FA=1,07), il massimo presso il Molo Balotta nel Comune di Muggia (TS24, 1,97 ppm, FA=6,57). Come rappresentato nella Fig. 3, i pattern di ricaduta più intensi riguardano la porzione meridionale della Provincia, ricalcando quasi perfettamente quelli relativi all'alluminio. Anche gli *hot spots* sono medesimi: oltre alla già citata stazione TS24 nel Comune di Muggia, i valori maggiori sono stati individuati, in ordine decrescente, presso la stazione di Dolina (TS27, FA=6,10), Basovizza (TS22, FA=6,63) e Servola (TS25, FA=4,90).

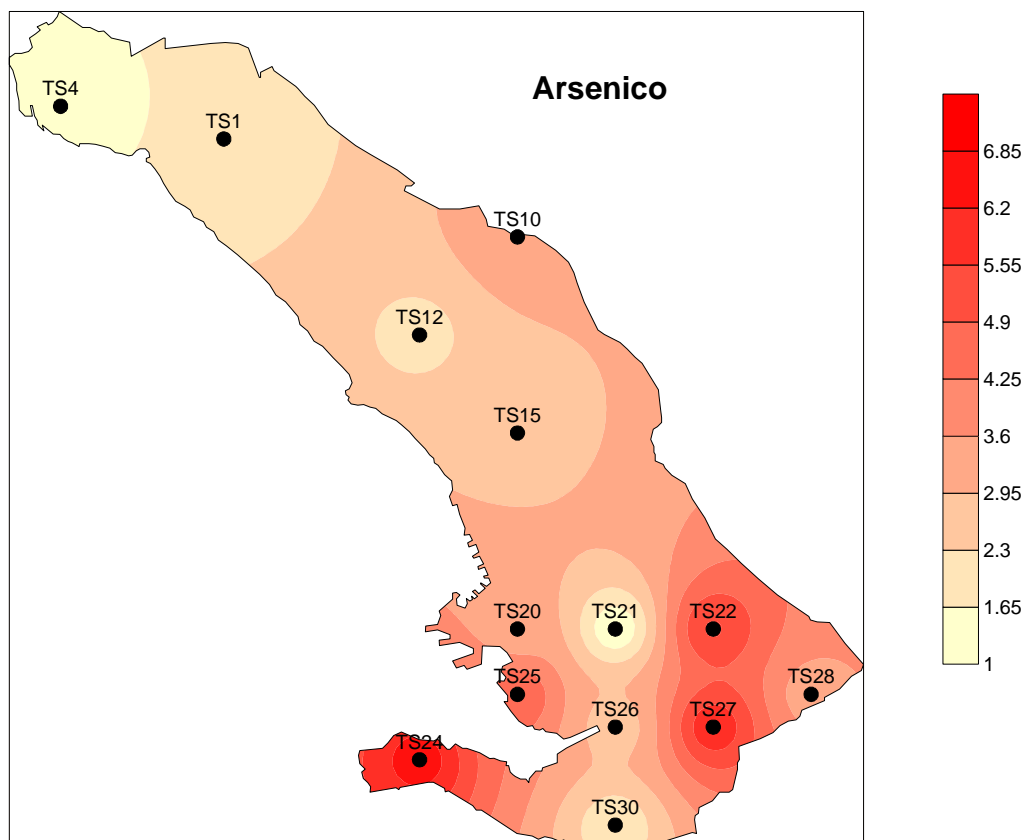


Fig. 3. Carta di distribuzione di As nei muschi analizzati nella Provincia di Trieste. I valori sono espressi in FA (Fattore di Accumulo).

Cadmio

Relativamente raro (0,5 ppm nella crosta terrestre), è tossico sia per gli animali che per le piante ed ha potere cancerogeno. Viene immagazzinato nel rene e nel fegato; l'effetto più dannoso è la perdita dei minerali delle ossa, che divengono flessibili e tenere (Lee 1972). Il Cadmio è un sottoprodotto delle industrie dello Zinco e del Piombo, utilizzato nell'industria automobilistica, nella produzione di pigmenti, batterie, leghe, e del piombo tetraetile, come dietilcadmio; deriva anche dall'impiego di fertilizzanti fosfatici e pesticidi, e dalla combustione di petrolio, carbone, carta e rifiuti urbani. Adriano (1986) riporta concentrazioni da 4 a 17 ppm in piante di ambienti contaminati, e da 0,1 a 2,4 ppm in aree lontane da fonti inquinanti. Le piogge acide provocano un aumento dell'assimilazione del cadmio da parte delle piante. Tale metallo presenta una tossicità acuta: la sua dose letale per l'uomo è di circa un grammo. L'assunzione ripetuta di cibi contaminati provoca una malattia degenerativa delle ossa, detta "itai-itai. Nell'uomo il cadmio viene complessato da una proteina, la metallothioneina, la cui funzione normale è di regolare il metabolismo dello zinco, e poi escreto con le urine. In caso di assunzione eccessiva, il metallo viene accumulato nel fegato e nei reni; un'esposizione cronica provoca un aumento della probabilità di contrarre nefropatie. Il cadmio si accumula nei microorganismi e nei tessuti di piante ed animali; se non viene eliminato mediante la metallothioneina, la sua vita media nell'organismo umano è di parecchi decenni.

Per quanto concerne la Provincia di Trieste, Il Fattore di Accumulo medio del cadmio è il più basso tra tutti i metalli analizzati (FA=1,40, Tab. 3), suggerendo fenomeni di ricaduta modesti su tutto il territorio indagato. Le stazioni situate in prossimità dell'Ospedale di Cattinara (TS21) e Slivia nel comune di Duino Aurisina (TS1), presentano valori paragonabili al bianco di riferimento suggerendo quindi ricadute assolutamente trascurabili (FA=0,86). Pure il valore massimo, riscontrato presso la stazione ST22 a Basovizza e pari a 0,35 ppm, presenta un fattore di accumulo decisamente basso (FA=2,50). Come mostrato nella Fig. 4, la geografia delle ricadute cambia nella porzione centro-meridionale, individuando sull'altipiano carsico le maggiori concentrazioni, benchè i fattori di accumulo rimangano comunque bassi e, tranne per la stazione TS22, inferiori al doppio del bianco di riferimento.

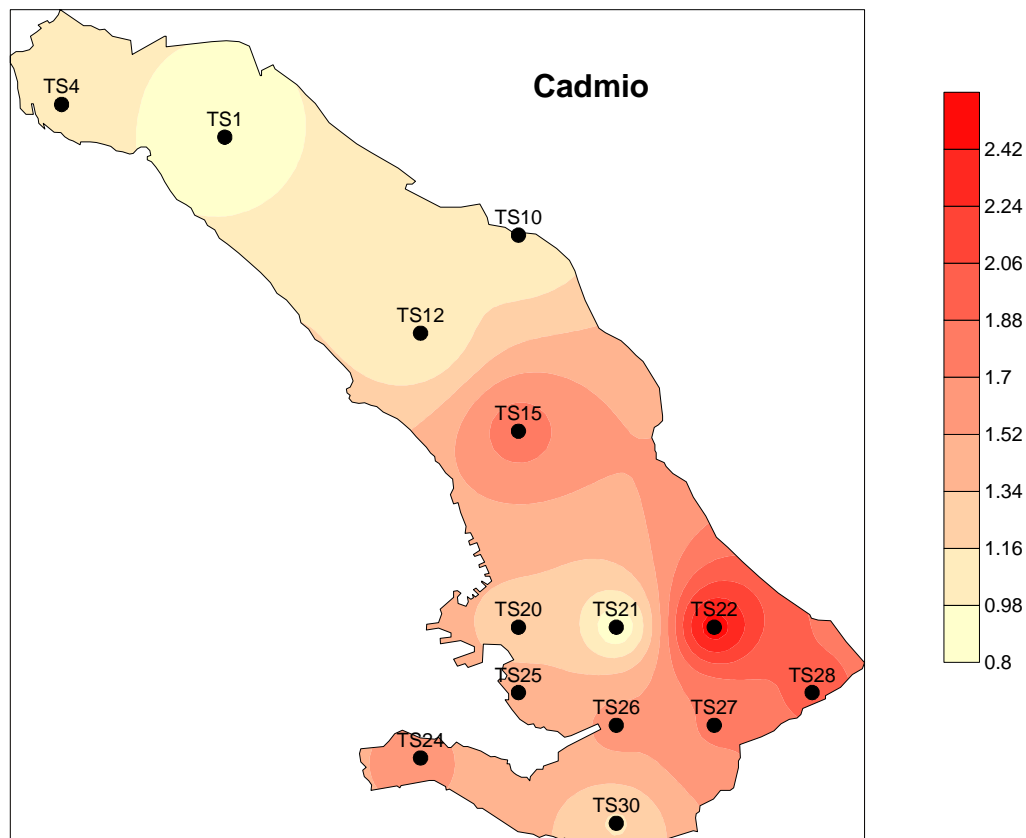


Fig. 4. Carta di distribuzione di Cd nei muschi analizzati nella Provincia di Trieste. I valori sono espressi in FA (Fattore di Accumulo).

Cromo

Presente nella crosta terrestre in misura di 80-200 ppm, si trova comunemente nello stato di ossidazione III. E' molto usato negli impianti di cromatura, nella produzione di vernici, nelle concerie, cartiere, tintorie industriali, lavorazione dell'acciaio ed altri metalli. In tracce tale metallo è essenziale nella dieta, ma alle concentrazioni normalmente adoperate nell'industria è fortemente tossico e può provocare cromismo, una malattia professionale. Molto tossico è lo stato di ossidazione VI, che può provocare cancro al polmone ed ulcerazioni della pelle (Lee 1972).

Il valore minimo di concentrazione è stato individuato presso la stazione TS4, in località Villaggio del Pescatore (0,14 ppm, FA=1,00), il massimo presso il Molo Balotta nel Comune di Muggia (TS24, 11,4 ppm,) con un fattore di accumulo pari a 8,14. Come visualizzato nella carta di Fig. 5, si individua un pattern crescente di ricadute secondo un gradiente nord-sud. L'elemento non presenta ricadute diffuse nell'area di studio ma concentrata in alcuni *hot spots* con particolare rilievo, in ordine decrescente di concentrazioni, presso la succitata stazione del Molo Balotta (ST24), Pesek (TS22, FA=6,14), Dolina (TS27, FA=5,43), Basovizza (TS22, FA=5,36) e Servola (TS25, FA=4,64).

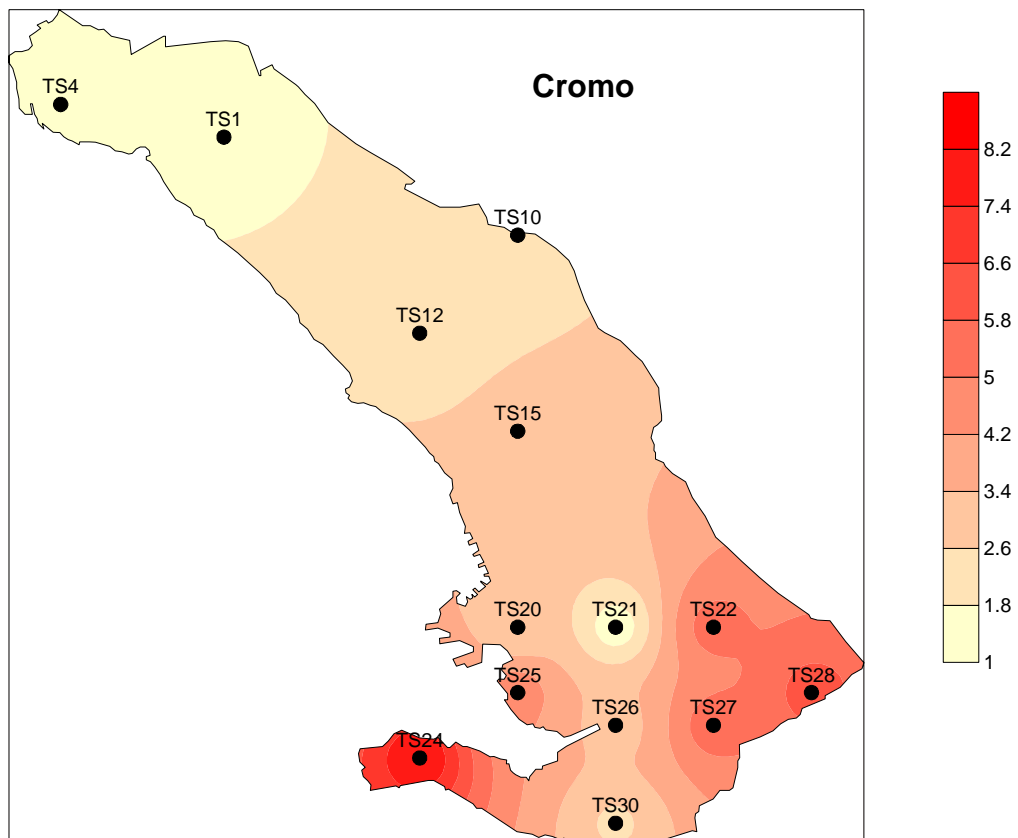


Fig. 5. Carta di distribuzione di Cr nei muschi analizzati nella Provincia di Trieste. I valori sono espressi in FA (Fattore di Accumulo).

Ferro

E' il quarto elemento per abbondanza nella crosta terrestre e, come l'Alluminio, ha origine prevalentemente litogena. E' presente nei composti umici in forma colloidale, ed è il più abbondante e meglio conosciuto nei sistemi biologici. Fonti secondarie sono gli scarichi delle miniere, che in presenza di ossigeno danno precipitati di idrossido ferrico, e le industrie metallurgiche e petrolifere (Floccia *et al.* 1985). Il ferro può provocare diverse malattie professionali (siderosi).

Per quanto concerne l'area di studio, il maggior valore di Fe è stato riscontrato presso la stazione TS 25 (3831 ppm, FA= 8,51), situata in prossimità della Ferriera di Servola, mentre il valore minimo è stato registrato presso il Villaggio del Pescatore (TS4, 542 ppm, FA=1,20). I maggiori pattern di ricaduta riguardano sempre due distinte aree della porzione meridionale della Provincia (Fig. 6). In ordine decrescente di concentrazione, oltre alla succitata stazione TS25, si individuano altri 3 *hot spots*, rispettivamente presso il Molo Balotta nel Comune di Muggia (TS24, FA=7,49), Dolina in prossimità dello stabilimento Wartsila (TS27, FA=6,01) e Basovizza ((TS22, FA=5,83).

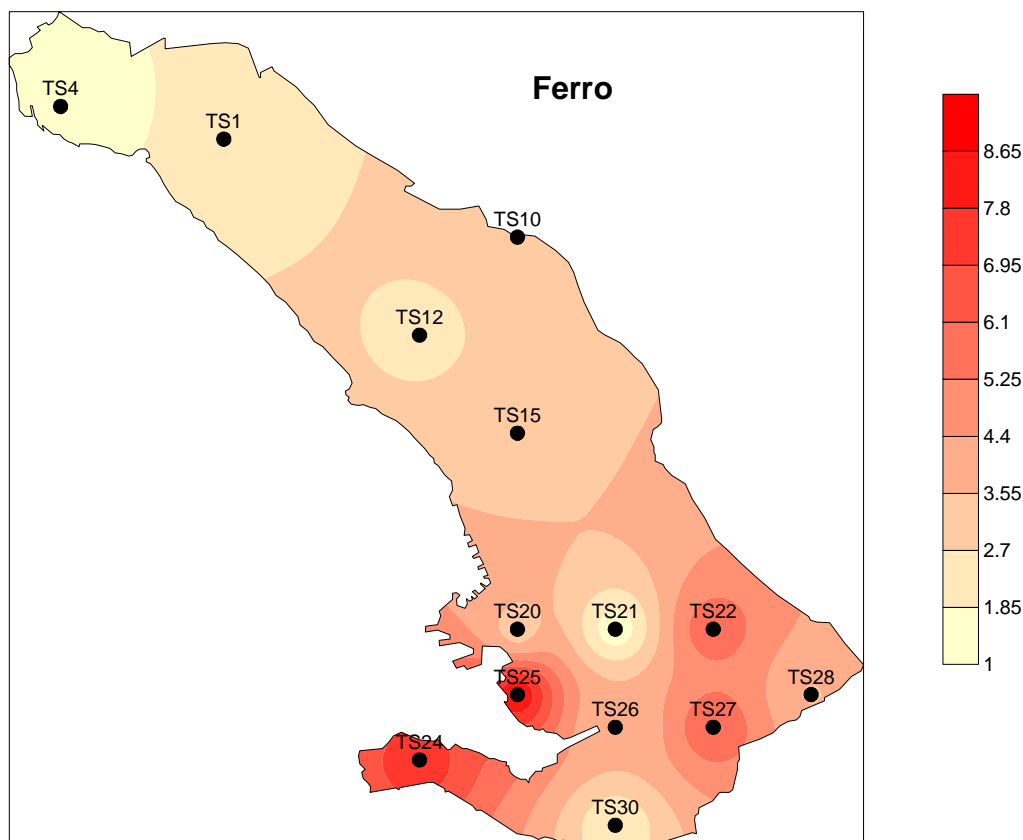


Fig. 6. Carta di distribuzione di Fe nei muschi analizzati nella Provincia di Trieste. I valori sono espressi in FA (Fattore di Accumulo).

Manganese

E' uno dei metalli più abbondanti negli organismi. Si impiega nell'industria del Ferro e dell'Acciaio (nei fumi c'è il 4% ca. di ossido di Manganese) ed è presente anche come additivo nei carburanti (Floccia *et al.* 1985); altre fonti sono la combustione di carbone, petrolio e l'incenerimento di rifiuti. E' tossico solo per le piante, quando suoli con pH inferiore a 6 vengono irrigati da acque con concentrazioni di Manganese di qualche mg/l. Un deficit di Manganese porta a clorosi e ad insufficiente accrescimento fogliare. Il Manganese, come Ferro ed Alluminio, viene spesso utilizzato per valutare la contaminazione terrigena dei campioni.

La concentrazione riscontrata nei muschi in tutta la Provincia di Trieste è relativamente bassa, dal momento che il Fattore di Accumulo medio è uno tra i più bassi dell'area di studio (FA= 1,50). Il valore maggiore di concentrazione è stato riscontrato presso la stazione di Servola (TS25, 3831 ppm), tuttavia è superiore appena del doppio rispetto al bianco di riferimento (FA=2,03), il valore minimo presso il Molo Balotta (TS24, 144 ppm, FA=0,86). Come evidenziato dalla carta di Fig. 7, le ricadute di questo metallo sono piuttosto basse e omogeneamente diffuse in tutta l'area di studio, per cui non si evidenziano *hot spots* apprezzabili.

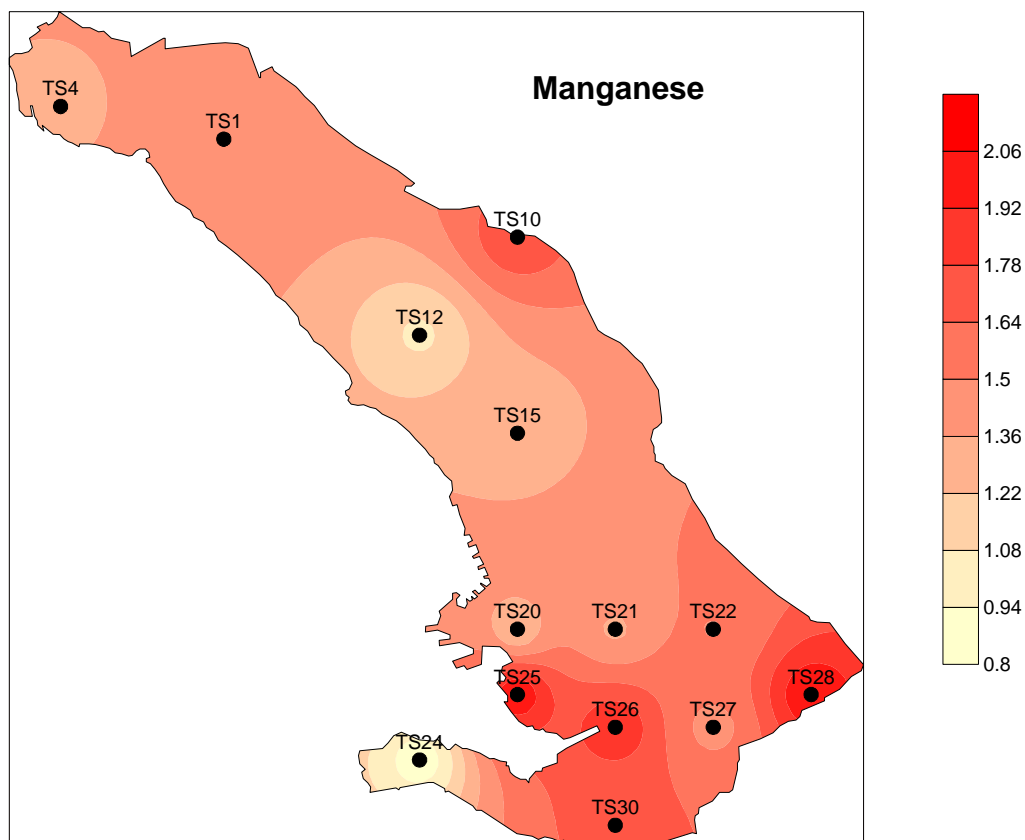


Fig. 7. Carta di distribuzione di Mn nei muschi analizzati nella Provincia di Trieste. I valori sono espressi in FA (Fattore di Accumulo).

Mercurio

È uno degli elementi meno abbondanti nella crosta terrestre (0,027 ppm, Floccia *et al.* 1985), appena il 74° per abbondanza, ma importante per l'alta tossicità e per le modalità di circolazione in natura. Il solo minerale per l'utilizzo industriale è il cinabro: l'estrazione mediante arrostitimento contamina l'atmosfera in prossimità dei forni. Il Mercurio è utilizzato nelle industrie chimiche (cloro e soda caustica) e petrolchimiche, nelle fonderie, acciaierie, nella fabbricazione di vernici e delle carta, batterie ed interruttori elettrici, per la produzione di insetticidi e fungicidi; è anche impiegato per produrre antisettici, cere per pavimenti, prodotti lucidanti per mobili, ammorbidenti di tessuti, filtri dei condizionatori d'aria (Dall'Aglio 1988). La sua tossicità è dovuta alla grande affinità per i gruppi sulfidrilici delle proteine: legandosi alle proteine di membrana oppure agli enzimi cellulari, il Mercurio può alterare le normali attività cellulari. Il Mercurio e i suoi composti possono subire trasformazioni biologiche sia nell'ambiente che nell'organismo; i composti organici sono i più pericolosi perché permeano le membrane e si accumulano nel cervello, fegato e rene; il metilmercurio si accumula nelle catene alimentari con effetti fortemente tossici. Nei vegetali esso causa disturbi mitotici, ma le piante ne assorbono solo piccole quantità, e le concentrazioni sono generalmente inferiori a 0,1 ppm.

Come evidenziato dalla Tab. 2, i valori di Hg riscontrati nei muschi dell'area di studio sono al di sotto dei limiti di rilevabilità strumentali, suggerendo situazioni di ricadute decisamente mediocri.

Nichel

Presente ubiquitariamente negli ecosistemi naturali, con un background di ca. 200 ppm nella crosta terrestre; le principali fonti antropogene sono la combustione del carbone (10 ppm) e del gasolio (2 ppm), gli inceneritori, le fonderie e le acciaierie. La sua presenza nell'atmosfera è aumentata negli ultimi decenni a causa dei combustibili fossili (Floccia *et al.* 1985). Generalmente non è tossico per le piante, che possono accumularne quantità elevate, ed è dubbia la sua tossicità per gli animali. Il limite di concentrazione stabilito nelle acque è pari a 20µg/l (D.lgs 31/01). Le concentrazioni nelle piante, in zone non contaminate, vanno da 0,20 a 3,00 ppm, mentre in zone contaminate sono state rilevate concentrazioni superiori a 11 ppm (Adriano 1986).

Relativamente all'area indagata, il valore massimo di concentrazione è stato registrato presso Molo Balotta nel Comune di Muggia (TS24, 10,1 ppm, FA= 6,73), il minimo in località Villaggio del Pescatore (TS4, 1,3 ppm, FA=0,87), stazione nella quale i valori sono paragonabili al bianco di riferimento. La carta di Fig. 8 suggerisce un gradiente di ricadute ascendente procedendo da Nord a Sud, raggiungendo i massimi valori, in ordine decrescente, presso la succitata stazione TS24, San Dorligo della Valle (TS27, FA=4,93), Servola (TS25, FA=3,93) e Basovizza (TS22, FA=3,67).

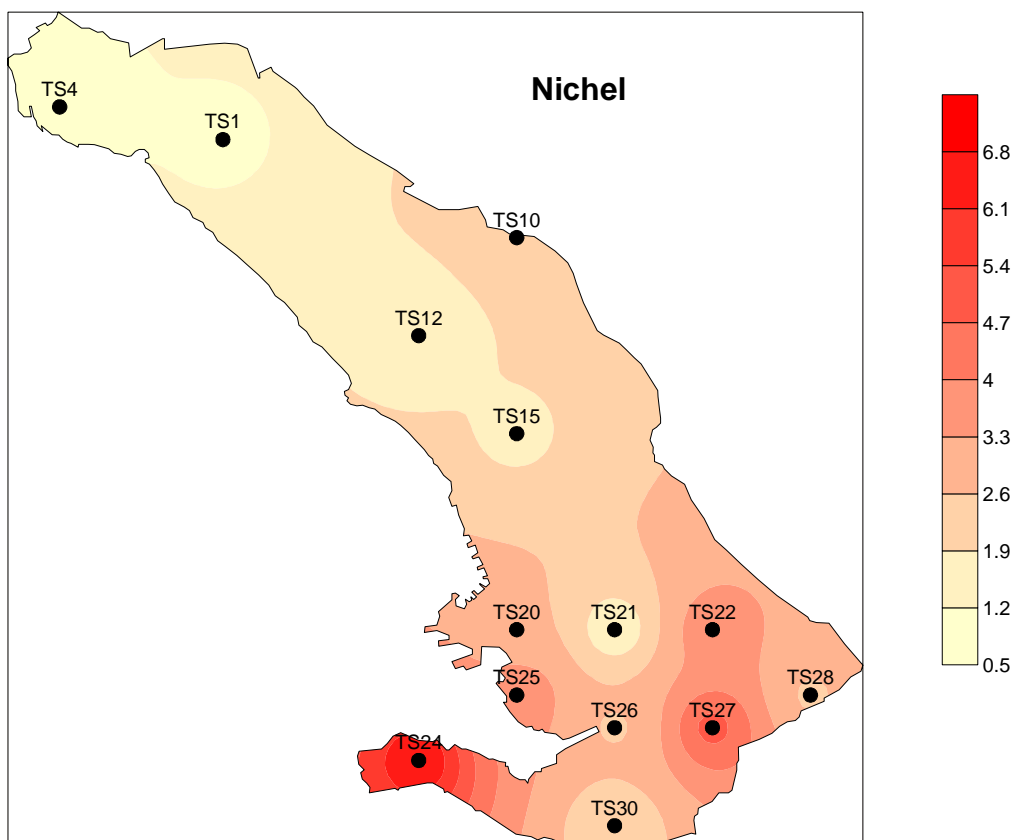


Fig. 8. Carta di distribuzione di Ni nei muschi analizzati nella Provincia di Trieste. I valori sono espressi in FA (Fattore di Accumulo).

Piombo

Presente nella crosta terrestre in misura ridotta (20 ppm), il Piombo tende ad accumularsi negli organismi, ed è tossico per animali e piante (Caglioti 1979). Nelle aree urbane si raggiungono valori di punta in atmosfera pari a $71 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in aree non urbane la concentrazione scende a $0,0002 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Floccia *et al.* 1985). Fonte principale è la combustione degli additivi antidetonanti della benzina, ma notevole è pure l'apporto dato dalle fonderie e dalla combustione del carbone. La tossicità del Piombo è dovuta all'affinità per i gruppi sulfidrici delle proteine: sono noti effetti inibitori verso alcuni enzimi, che si manifestano spesso come anemie, causa l'alterazione nella biosintesi del gruppo *eme* dell'emoglobina eritrocitaria. I danni maggiori sono a carico dei sistemi eritropoietico, nervoso, gastrointestinale e renale. Circa il 30% del Piombo inalato è assorbito a livello bronchiale e circa il 10% di quello ingerito è assorbito dal tratto gastrointestinale. Il maggior compartimento di accumulo è l'osso, ove si trova il 90% del Piombo corporeo e dove risiede il tessuto emopoietico che subisce i danni maggiori; in questa sede il Piombo ha un'emivita di ca. 20 anni. Altri compartimenti di deposito sono il sangue, dove esso si lega agli eritrociti, probabilmente in associazione con l'emoglobina, e i tessuti molli, dove ha un'emivita biologica di 20 giorni. L'eliminazione avviene prevalentemente per via urinaria (80%); altre vie di secrezione sono i capelli, le unghie ed il sudore. (Dall'Aglio 1988, Lee 1972a,b).

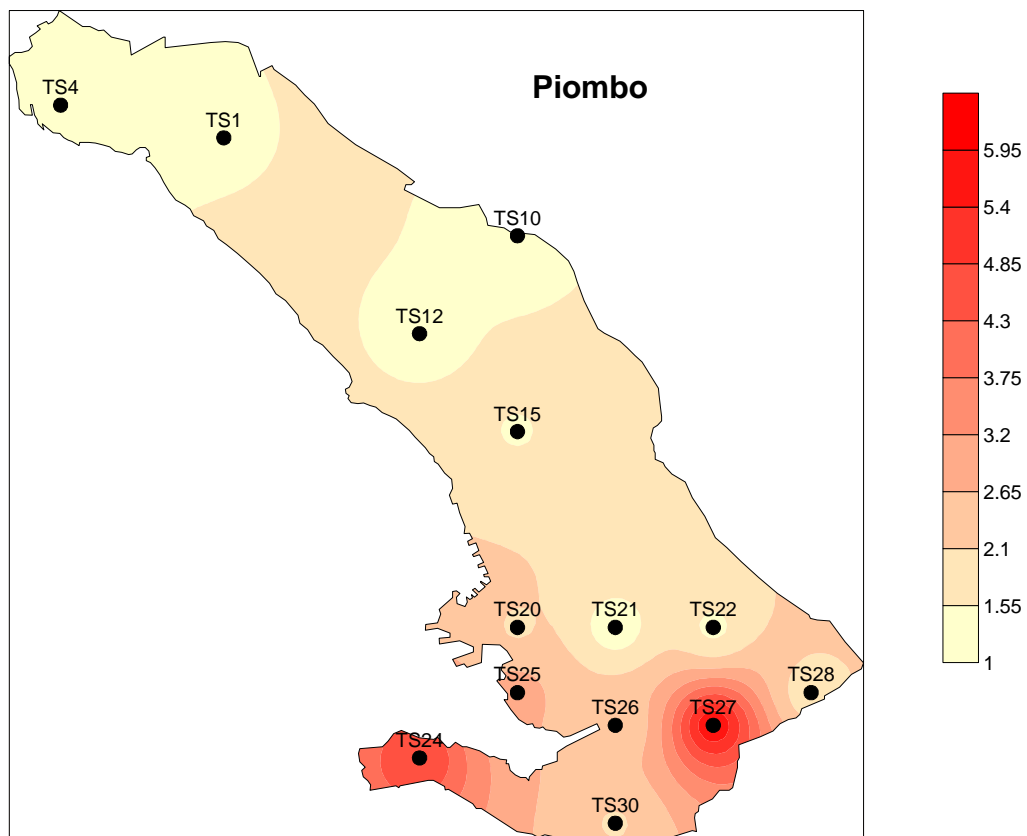


Fig. 9. Carta di distribuzione di Pb nei muschi analizzati nella Provincia di Trieste. I valori sono espressi in FA (Fattore di Accumulo).

Per quanto concerne la provincia di Trieste, il valore minimo di concentrazione è stato registrato presso la località villaggio del Pescatore nel Comune di Duino-Aurisina (TS4, 3,9 ppm, FA=1,08), il massimo nella stazione situata presso San Dorligo della Valle (TS27, 21ppm, FA=5,83). Come mostrato in Fig. 9, le maggiori zone di ricadute si osservano nella porzione meridionale della Provincia, in cui si individuano 3 *hot spots* localizzati presso la succitata stazione TS27, presso il Molo Balotta (TS24, FA=4,81) e Servola (TS25, FA=2,83)

Rame

Presente in abbondanza nella crosta terrestre, può essere tossico per le piante anche a concentrazioni non elevate, mentre è meno tossico per gli animali (Floccia *et al.* 1985). Si impiega per produrre vari tipi di leghe, pitture, lastre fotografiche ed additivi alimentari usati nell'allevamento dei maiali; è anche utilizzato nell'industria del ferro e dell'acciaio e nella produzione di pesticidi. Fonti secondarie sono la combustione del carbone, del petrolio e l'incenerimento di rifiuti urbani. Nei vegetali le concentrazioni normali variano da 4 a 20 ppm (Floccia *et al.* 1985), quantità indispensabili per la sintesi della clorofilla (un deficit di Rame provoca clorosi); al di sopra di questi valori il Rame diventa tossico per la pianta.

Nell'area di studio è uno degli elementi per cui sono stati registrati i valori minori di ricaduta su tutto il suolo provinciale. Il valore minimo di rame è stato registrato presso la località di Prosecco (TS12, 8,6 ppm, FA=0,96), il massimo presso San Dorligo della Valle (TS27, 25,1 ppm, FA= 2,79). La carta di Fig. 10 suggerisce i maggiori fenomeni di ricaduta, benchè di modeste intensità, nella porzione meridionale della provincia, concentrandosi presso la succitata stazione TS 27 e molo Balotta (TS24, FA=2,40).

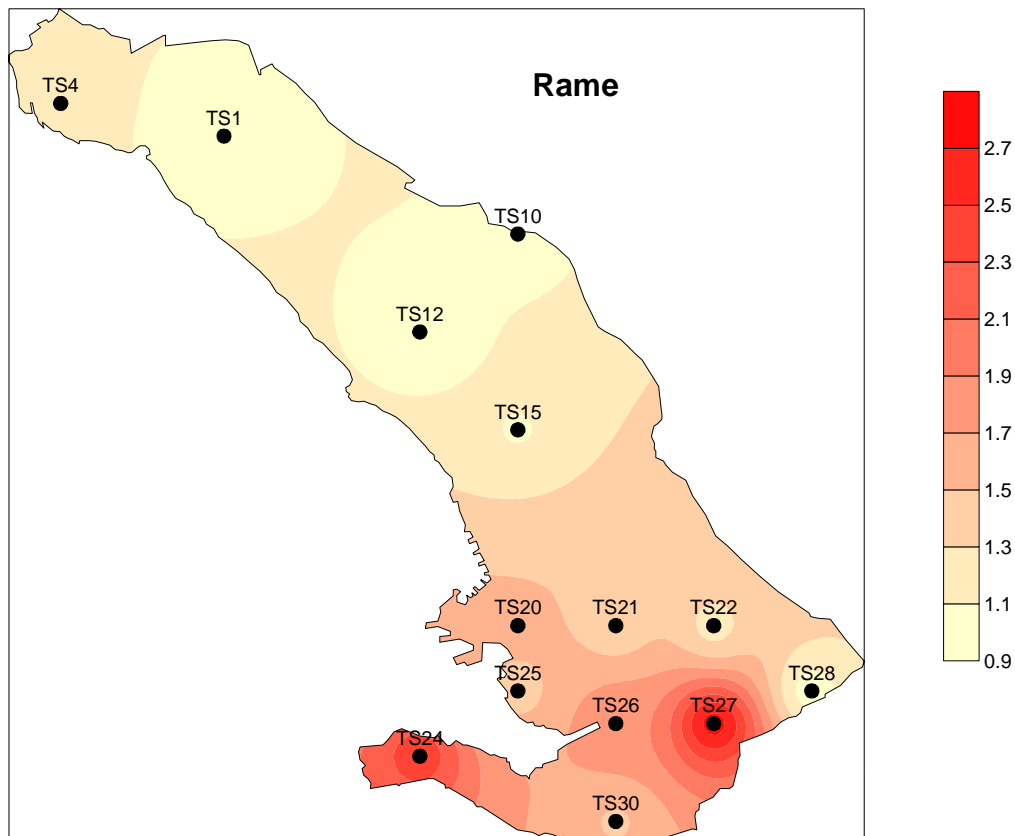


Fig. 10. Carta di distribuzione di Cu nei muschi analizzati nella Provincia di Trieste. I valori sono espressi in FA (Fattore di Accumulo).

Vanadio

Presente nella crosta terrestre in concentrazioni medie di 150 ppm (Adriano 1986), viene usato nella produzione di Ferro-Vanadio, nella sintesi di leghe con Titanio, come additivo dell'acciaio, come catalizzatore in varie reazioni chimiche industriali. Il pentossido di Vanadio è usato nella produzione della ceramica e di vari prodotti chimici. Il Vanadio è inoltre presente nei prodotti di combustione del carbone e di altri carburanti di origine fossile. E' stata riscontrata una evidente correlazione con varie malattie dell'apparato respiratorio, incluso il cancro al polmone; l'esposizione ad emissioni industriali provoca irritazione polmonare, ed irritazione degli occhi; la tossicità del Vanadio è correlata con la presenza di altri metalli come Nichel e Cromo (Lee 1972).

Il minore valore di concentrazione nell'area di studio è registrato presso la stazione di Villaggio del Pescatore (TS4, 2 ppm, FA=1,43), il massimo presso il molo Balotta nel Comune di Muggia (TS24, 13 ppm), corrispondente al più elevato fattore di accumulo registrato nell'area di studio per tutti i metalli analizzati (FA=9,29). La carta di Fig. 11 suggerisce che i maggiori pattern di ricaduta si concentrano nella porzione meridionale della provincia lungo due transetti paralleli, uno rappresentato dalla succitata stazione TS24 e quella presso Servola (TS25, FA=6,29), l'altro da quella in prossimità di Basovizza (TS22, FA=7,57) e San Dorligo della Valle (TS27, FA=6,64).

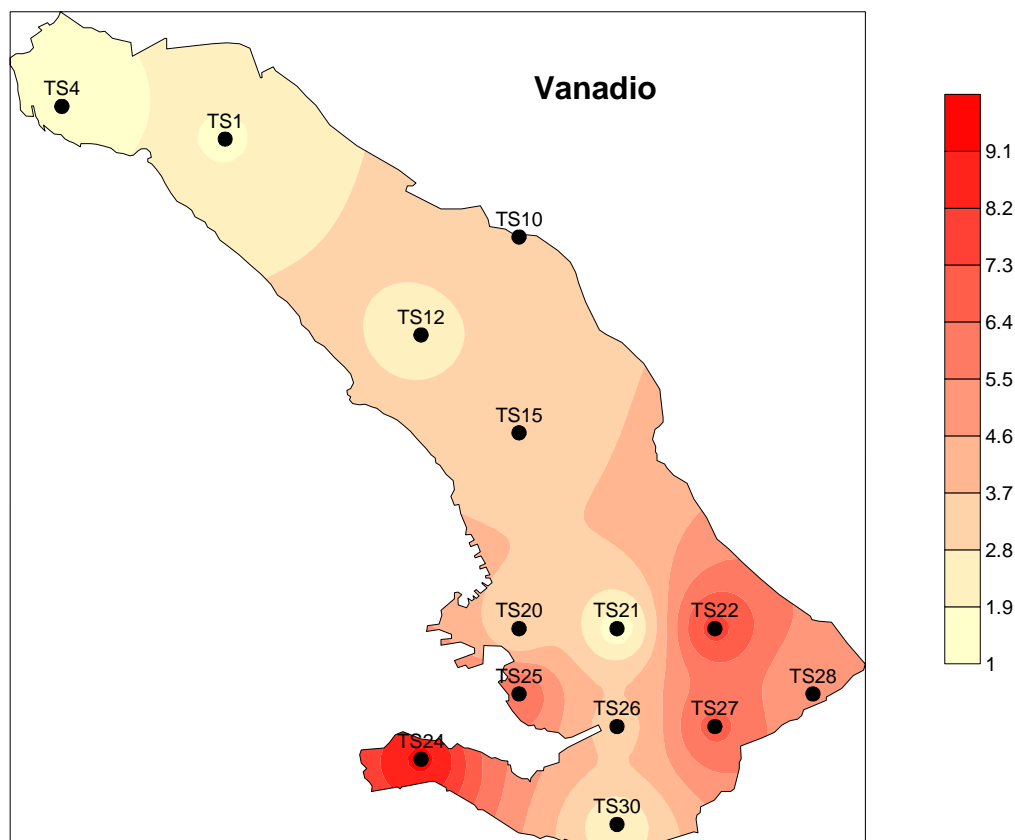


Fig. 11. Carta di distribuzione di V nei muschi analizzati nella Provincia di Trieste. I valori sono espressi in FA (Fattore di Accumulo).

Zinco

Presente nella crosta terrestre in circa 40 ppm, è relativamente poco tossico per piante ed animali (Floccia et al. 1985). La sua carenza può determinare ritardo di crescita nel bambino. Alcuni vegetali ne accumulano senza danno quantità pari al 15% del peso secco. Le principali fonti secondarie sono fonderie, inceneritori e miniere (solfuro di Zinco), industrie della gomma, combustione del carbone, traffico veicolare, e l'uso di fertilizzanti e pesticidi.

Per quanto concerne l'area di studio, lo zinco è in assoluto il metallo per cui sono stati registrati i minori valori di ricadute. In 7 stazioni su 14 i valori di concentrazione sono prossimi al bianco di riferimento. Il maggiore valore è stato riscontrato presso la stazione di San Dorligo della Valle (TS27, 86 ppm), benchè il basso fattore di accumulo (FA=1,91) suggerisce in ogni caso un fenomeno di ricadute trascurabile.

La carta di Fig. 12 individua i maggiori pattern di ricaduta, comunque mai superiori al doppio del bianco di riferimento, nella porzione meridionale della Provincia. Dato i bassi fattori di accumulo, è ragionevole supporre che effettivi *hot spots* di ricaduta siano assenti.

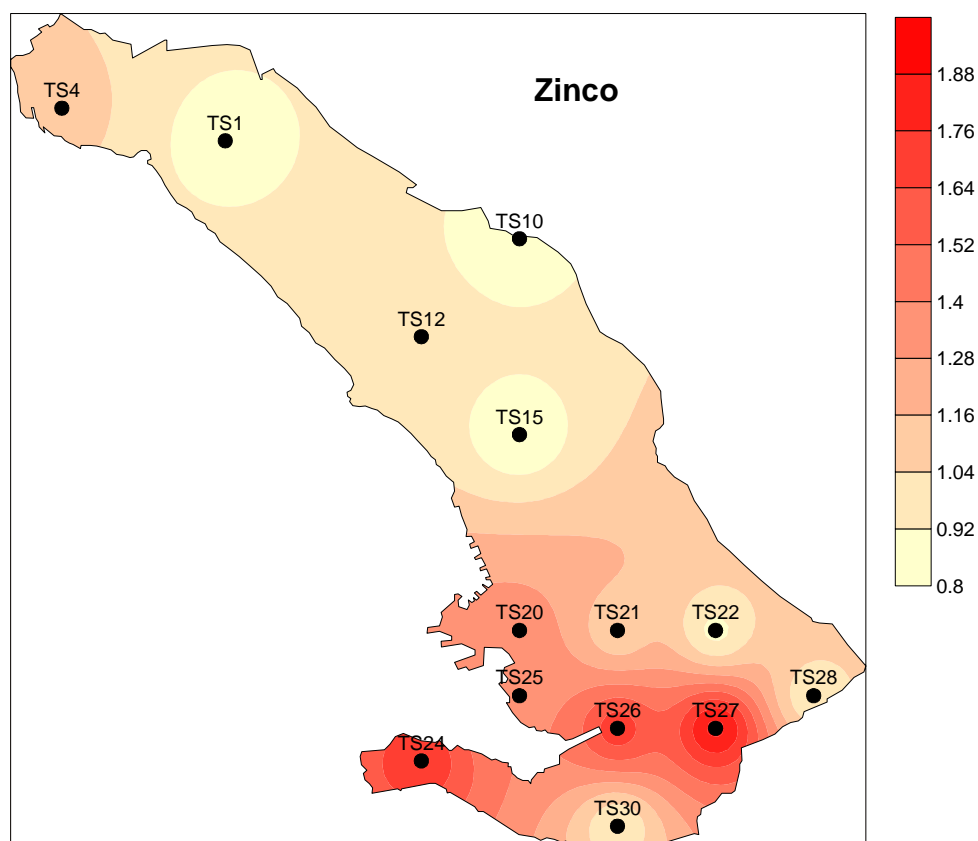


Fig. 12. Carta di distribuzione di Zn nei muschi analizzati nella Provincia di Trieste. I valori sono espressi in FA (Fattore di Accumulo).

5.2 Carico totale dei metalli

Dal momento che la presente analisi si basa sui fattori di accumulo, ovvero rapporti tra valori di concentrazione ai vari intervalli di esposizione in relazione a quelli del tempo “zero” (prima dell’esposizione), è stato escluso dall’elaborazione il mercurio dal momento che tutti i valori registrati nei campioni sono inferiori al limite di rilevabilità strumentale.

La carta di Fig. 13 individua i pattern di ricaduta del carico totale dei metalli in provincia di Trieste. Si evidenzia un evidente gradiente di concentrazione ascendente procedendo da nord verso sud, individuando due aree parallele di maggiore ricaduta, rispettivamente a est e ovest della porzione meridionale dell’area di studio. In Tab 4 le stazioni di campionamento sono ordinate secondo valori decrescenti di carico totale dei metalli. La stazione maggiormente colpita dalle ricadute di metalli è quella situata presso il molo Balotta in Comune di Muggia, con un carico totale pari a 5,26, seguita da Dolina (TS27, CT=4,37), Servola (TS25, CT=4,08), Basovizza (TS22, CT=3,92) e Pesek (TS28, CT=3,00).

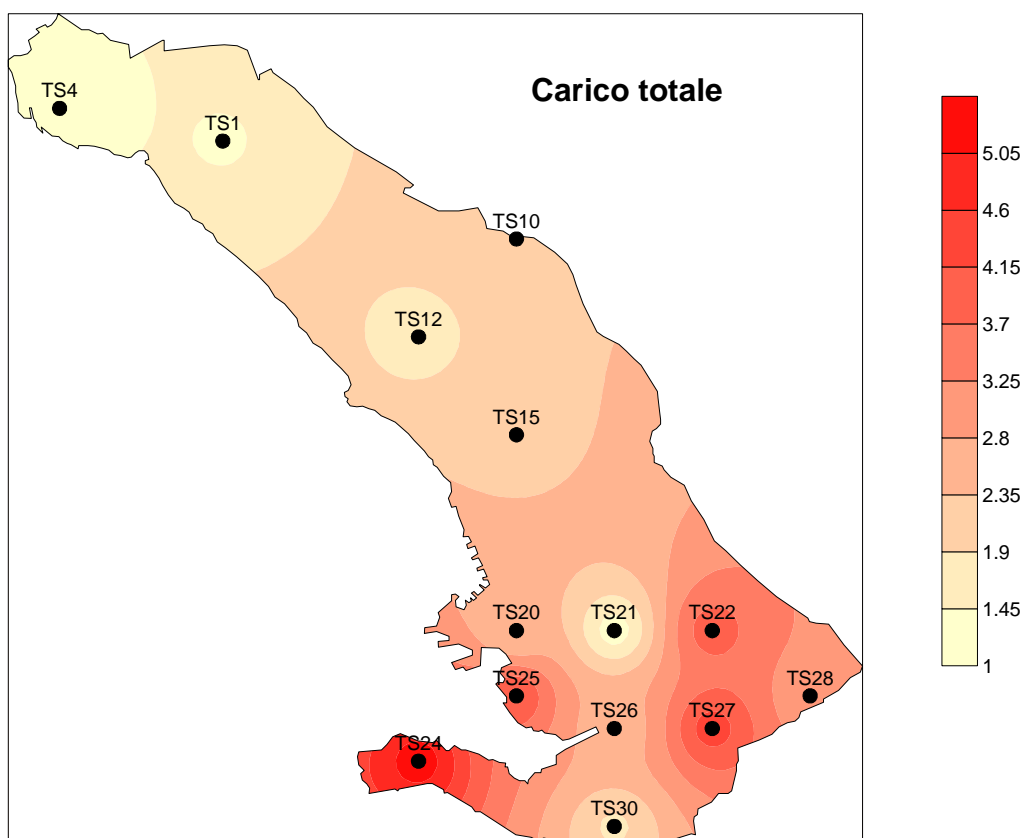


Fig. 13. Carta di distribuzione del Carico Totale (CT) di metalli nei muschi analizzati nella Provincia di Trieste. I valori sono espressi in FA (Fattore di Accumulo).

Stazioni	Località - Comune	CT
TS24	Molo Balotta – Muggia	5,26
TS27	Dolina – San Dorligo della Valle	4,37
TS25	Servola – Trieste	4,08
TS22	Basovizza – Trieste	3,92
TS28	Pesek – San Dorligo della Valle	3,00
TS26	Zona industriale – Trieste	2,51
TS20	Piazza Garibaldi – Trieste	2,33
TS10	Monte Lanaro – Sgonico	2,22
TS15	Opicina – Trieste	2,09
TS30	Valle delle Noghère – Muggia, S. Dorligo della V.	1,81
TS12	Prosecco – Trieste	1,73
TS1	Slivia – Duino Aurisina	1,42
TS21	Cattinara – Trieste	1,23
TS4	Villaggio del Pescatore – Duino Aurisina	1,14

Tab. 4. Stazioni di campionamento ordinate secondo valori decrescenti di carico totale (CT) di metalli.

6. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Escludendo il mercurio, in tutte le stazioni di campionamento sono stati riscontrati valori di concentrazione superiori ai limiti di rilevabilità strumentale. Le maggiori ricadute sono stati riscontrati per metalli quali Al, As, Fe, Cr, V, mentre le più basse riguardano Cd, Cu e Mn. I pattern di ricaduta di tutti i metalli, nonché del loro carico totale, sono sostanzialmente molto simili suggerendo comuni e ben definite fonti di emissione. Si individuano due pattern di distribuzione significativi nella provincia di Trieste, entrambi situati nella porzione meridionale, uno che concerne le stazioni situate presso Servola e Molo Balotta, l'altro San Dorligo della Valle, Basoviza e Pesek. Le stazioni di Servola e San Dorligo della Valle sono situate rispettivamente presso uno stabilimento siderurgico (Lucchini SPA) e uno di produzione di motori per navi (Wartsila). Le rimanenti 3 stazioni non presentano fonti locali consistenti se non riconducibili al riscaldamento domestico e al traffico veicolare, facendo presupporre fenomeni di ricaduta da altre fonti emittenti. Questa ipotesi è avallata dal fatto che le stazioni comprese tra le due aree di ricaduta maggiore (TS20-21-26), benchè situate in aree ad elevata urbanizzazione, non presentano tuttavia fenomeni di accumulo altrettanti consistenti. Addirittura nella stazione TS21, situata presso l'ospedale di Cattinara, sono state riscontrate le concentrazioni minori di metalli dopo quelle di Villaggio del Pescatore (TS4), suggerendo quindi che le ricadute riguardano fonti emittenti industriali. Lo stabilimento siderurgico di Servola, anche in base a pregressi lavori (Skert et al. 2006) pare giocare, grazie al regime locale dei venti, un ruolo determinante nella distribuzione delle ricadute di metalli nella porzione meridionale della Provincia di Trieste.

Si suggerisce quindi di intensificare lo studio delle ricadute attorno allo stabilimento in questione al fine di suffragare questa ipotesi.

Ringraziamenti. Si ringrazia la Dottoressa Antonella Mori della ELETTRA SERVOLA S.r.l., per aver concesso lo spazio recintato delle cabine di rilevamento dell'inquinamento atmosferico presso le stazioni 3 e 5.

7. BIBLIOGRAFIA

- Adriano D. C., 1986. *Trace Elements in the Terrestrial Environment*. Springer, New York, 533 pp.
- AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme), 1997. *Arctic Pollution Issues: A State of the Arctic Environment Report*. Arctic Monitoring and Assessment Programme, Oslo.
- Bargagli, R. 1998. *Trace Elements in Terrestrial Plants. An Ecophysiological Approach to Biomonitoring and Biorecovery*. Springer: 324 pp.
- Caglioti L., 1979. *I due volti della chimica. Benefici e rischi*. EST Mondadori, Milano.
- Cenci RM, 1998. L'utilizzo di muschi indigeni e trapiantati per valutare in micro e macro aree le ricadute al suolo di elementi in tracce: proposte metodologiche. In *Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale*. ANPA Serie atti 2/1999. 241-263.
- Cenci RM, Paracchini L, Papucci C, Benco C, Palmieri F, Neri R, 1995. *Muschi e suoli per il controllo della contaminazione ambientale da metalli*. La Città e l'ENEL, Comune di La Spezia. Atti del convegno, pp 93-120
- Dall'Aglio M., 1988. *Mercurio e piombo: circolazione, destino ed effetti sulla salute*. Le Scienze Quaderni, 40: 75-80.
- Floccia M., Gisotti G. & M. Sanna, 1985. *Dizionario dell'inquinamento: cause, effetti, rimedi e normativa*. Ediz. NIS: 206-210.
- Lee D.H., 1972. *Metallic contaminants and human health*. Academic Press, New York.
- Nriagu, J.O., 1989. A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals, *Nature*, 338, 47-49.
- Rühling, Å., 1994. *Atmospheric heavy metal deposition in Europe - estimations based on moss analysis*. Nordic Council of Ministers. Nord 1994:9.
- Ruhling Å., Tyler G, 1970. *Sorption and retention of heavy metals in the woodland moss Hylocomium splendens*. *Oikos*: 21: 92-97.
- Skert N., Miani N., Mariuz M., Grahonja R., 2006. *Biomonitoraggio dell'inquinamento da gas fitotossici nella Provincia di Trieste tramite licheni come bioindicatori*. *Biologi Italiani*, anno XXXVI n. 5, maggio 2006, 65-74.