Studia Geobotanica. Vol. 18: 3-49 (1999)

BIOMONITORAGGIO DI METALLI IN TRACCIA TRAMITE LICHENI IN AREE A RISCHIO DEL FRIULI-VENEZIA GIULIA

Pier Luigi NIMIS, Nicola SKERT e Miris CASTELLO

Dipartimento di Biologia, Università di Trieste, via L. Giorgieri 10, I-34127 Trieste

Keywords: biomonitoring, Friuli-Venezia Giulia, Italy, lichens, pollution, trace metals.

Abstract: BIOMONITORING OF TRACE METALS BY LICHENS IN HIGH-RISK AREAS OF FRIULI-VENEZIA GIULIA (NE ITALY). This study is based on the concentrations of 16 metals in peripheral parts of the thalli of the lichen *Xanthoria parietina*, collected on trees satisfying standard conditions in 155 stations located in the lowlands of Friuli-Venezia Giulia (NE Italy), previously selected as potential high-risk areas by Regional Authorities. The interpretation of metal concentrations is based upon two maps, showing, for each metal, its distributional pattern and the degree of deviation from background (natural) conditions. The latter has been estimated through a seven-class scale based on the percentile distributions of several hundreds measurements of metal concentrations carried out in foliose lichens throughout Italy during the last ten years, using similar methods. The joint occurrences of all metals in the stations are synthetized by maps based on three indices, an index of naturality (indicating the number of metals with concentrations within normal conditions), an index of environmental alteration (indicating the number of metals strongly deviating from the norm), and an index of potential toxicity (derived from that of alteration, with each metal weighed according to its toxicity). The central-southern part of the Province of Udine is the most severely affected by metals in general, while in several other stations single metals strongly deviate from normal conditions. These sites are suggested to the Regional Authorities as focal points for instrumental monitoring of environmental pollution. The introduction includes some basic considerations about epistemological, methodological and terminological matters related to the use of biomonitoring techniques.

Introduzione

Le tecniche di biomonitoraggio permettono di valutare lo stato di alcuni parametri ambientali sulla base degli effetti da essi indotti su organismi sensibili. Questi si manifestano a due livelli, che permettono di distinguere due categorie di tecniche:

a) accumulo di sostanze: tecniche di bioaccumulo, che misurano le concentrazioni di sostanze in organismi in grado di assorbirle ed accumularle dall'ambiente;
b) modificazioni morfologiche, fisiologiche o genetiche a livello di organismo, di popolazione o di comunità: tecniche di bioindicazione, che stimano gli effetti di variazioni ambientali su componenti sensibili degli ecosistemi.

I bioindicatori devono essere sensibili, i bioaccumulatori devono essere tolleranti ai fattori indagati; entrambi devono avere presenza diffusa, scarsa mobilità e lungo ciclo vitale. Non vi sono differenze sostanziali tra tecniche di bioindicazione e di bioaccumulo, anche se le prime si basano su misure biologiche, le seconde su analisi chimiche: entrambe rientrano nella definizione del termine «biomonitoraggio» proposta da Nimis (1999 a,b): «*stima delle deviazioni da situazioni normali di componenti degli ecosistemi reattivi all'inquinamento*».

La frequente affermazione secondo cui le tecniche di biomonitoraggio producono dati qualitativi, che indicherebbero la qualità dell'aria, piuttosto che dati quantitativi di inquinamento, non appare corretta. I termini «*qualità dell'aria*» ed «*inquinamento dell'aria*», spesso utilizzati come sinonimi, coprono concetti molto diversi (Nimis 1990, 1991). L'inquinamento, espresso in termini di concentrazioni misurate strumentalmente, è di facile definizione operazionale ma il suo monitoraggio, tuttavia, è difficile, per i seguenti motivi:

a) le concentrazioni degli inquinanti in atmosfera sono molto variabili nello spazio e nel tempo, il che implica studi condotti su base statistica, per lunghi periodi, e con reti di punti di misura a densità elevata;
b) gli alti costi degli strumenti ne limitano fortemente il numero, per cui i dati strumenta-

li hanno spesso uno scarso valore statistico, nonostante l'apparente precisione delle singole misure;

c) la strumentazione normalmente utilizzata rileva un numero esiguo di sostanze inquinanti.

Il termine «*qualità dell'aria*» si riferisce invece agli effetti dell'inquinamento su diversi soggetti, tra cui l'uomo, altri animali, piante, o oggetti inorganici, come i monumenti in pietra. Non esiste una misura univoca della *qualità dell'aria,* e la sua definizione operazionale dovrebbe venire affidata ad indici numerici basati su un altissimo numero di parametri, il che è reso quasi impossibile dalle troppo scarse conoscenze sugli effetti di singole sostanze inquinanti su uomo, animali, piante, sugli effetti sinergici degli inquinanti su diversi organismi ed il trasferimento degli inquinanti negli ecosistemi, e dal fatto che il danno provocato dagli inquinanti non sempre dipende da valori medi, ma anche da quelli massimi, o dalla durata dell'esposizione.

Queste difficoltà hanno portato alla ricerca di *indicatori della qualità dell'aria:* parametri della più diversa natura che si suppongono correlati con la *qualità dell'aria.* In assenza di una definizione operazionale del termine *qualità dell'aria,* gli *indicatori* diventano il solo modo per definirla. Ciò comporta un ragionamento circolare, inaccettabile dal punto di vista scientifico (Nimis 1991, 1999 a,b).

Le tecniche di biomonitoraggio producono dati biologici: misure di biodiversità, di variazioni nell'assetto morfologico, fisiologico o genetico degli organismi, misure delle concentrazioni di sostanze negli organismi. Essi hanno un interesse intrinseco, indipendentemente dall'eventuale correlazione con dati strumentali di inquinamento. Il biomonitoraggio non utilizza gli organismi *come centraline,* né fornisce stime di una non meglio definita *qualità dell'aria:* esso misura deviazioni da condizioni «normali» di componenti degli ecosistemi reattivi all'inquinamento, utili per stimare gli effetti combinati di più inquinanti sulla componente biotica. Il biomonitoraggio non è alternativo rispetto a quello strumentale, ma è un campo di ricerca autonomo nell'ambito della Biologia, che può fornire informazioni importanti per il monitoraggio dell'inquinamento, individuando possibili zone a rischio, ed ottimizzando la localizzazione degli strumenti di misura.

Questo lavoro presenta i risultati di uno studio effettuato nel maggio 1997 su commissione della Regione Friuli-Venezia Giulia, Direzione Regionale dell'Ambiente, Servizio della Disciplina e per lo Smaltimento dei Rifiuti, mirante al biomonitoraggio di metalli in traccia tramite licheni in aree contaminate da rilasci incidentali o dolosi di sostanze pericolose. I campionamenti sono stati eseguiti in 155 stazioni site nella parte meridionale della Regione Friuli-Venezia Giulia, per la maggior parte comprese nel Piano Regionale di Bonifica, approvato dalla Giunta Regionale nel giugno 1996. Lo scopo è di aggiornare ed integrare le informazioni disponibili nel Piano di Bonifica, evidenziando eventuali fenomeni di accumulo biologico di metalli in traccia.

I metalli sono stati scelti sulla base delle seguenti considerazioni:

a) As, Be, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb e V, in quanto tossici per l'uomo anche in basse concentrazioni;

b) Se, Cu, Te, Ba e Zn, che, pur poco tossici a basse concentrazioni, possono divenirlo a concentrazioni elevate;

c) Fe, Al e Mn, poco tossici, ma spesso di derivazione terrigena: le concentrazioni di questi metalli permettono di stimare il grado di contaminazione terrigena (Bargagli 1990, 1998).

Rispetto ad analoghi studi sinora svolti in Italia, vengono qui introdotte alcune novità sostanziali:

1) Sinora le tecniche di bioaccumulo si limitavano ad evidenziare semplici patterns geografici ed i loro massimi locali (*hot spots*). Oltre alle carte dei patterns geografici di ciascun metallo vengono fornite anche delle carte che evidenziano i livelli di naturalità/alterazione ambientale espressi dalle concentrazioni dei metalli nei licheni. Queste sono basate su scale di interpretazione suddivise in sette classi, ottenute dall'analisi delle distribuzioni dei percentili relativi a numerosi studi sinora svolti in Italia (Nimis & Bargagli 1999). Esse mostrano la magnitudo di eventuali deviazioni da situazioni normali, permettendo una valutazione in termini di qualità ambientale.

2) La sintesi dei risultati è stata effettuata sulla base di vari indici, calcolati per ciascuna stazione, con relativi riporti cartografici: a) indice sintetico di naturalità, che indica il numero di metalli con concentrazioni nell'ambito di background naturali; b) indice sintetico di alterazione, basato sul numero di metalli con concentrazioni fortemente devianti da condizioni normali; c) carico totale di metalli; d) indice sintetico di tossicità potenziale, che indica il rischio-salute potenziale pesando i metalli a seconda della tossicità ambientale.

Dati e Metodi

Scelta del bioaccumulatore

Come bioaccumulatore è stata impiegata *Xanthoria parietina,* un lichene con ampia distribuzione nell'area di studio. La forma foliosa favorisce i procedimenti di prelievo e di allestimento dei campioni per le ulteriori fasi di analisi. La distribuzione attuale di *Xanthoria parietina* in Europa è la conseguenza di una recente espansione dell'areale, influenzata dalla crescente antropizzazione, soprattutto in zone agricole. Questa specie è distribuita dalla Scandinavia alla regione mediterranea. In Italia è comune dalla fascia planiziale a quella montana, su alberi isolati a scorza primariamente eutrofica o secondariamente eutrofizzata, in vegetazione di *Xanthorion* (Barkman 1958, Nimis *et al.* 1992, Nimis 1993). Secondo Hawksworth & Rose (1970), in Inghilterra *Xanthoria parietina* è piuttosto resistente all'inquinamento, tollerando concentrazioni medie annue di SO_2 sino a 70 $\mu g/m^3$. In Italia *Xanthoria parietina* è già stata utilizzata per studi di bioaccumulo da Bargagli *et al.* (1985, 1997) nell'area industriale di Rosignano Solvay (Toscana), nella Provincia di Treviso (Nimis *et al.* 1996) e nell'intera regione del Veneto (Morandi 1998), a Macerata (Gasparo *et al.* 1989), nell' Alto Vicentino (Nimis *et al.* 1992) e presso Montalto di Castro (Nimis ined.).

Campionamento

Il campionamento è stato eseguito nel maggio 1997, in un periodo di tre settimane, in 155 stazioni (Fig. 1). Le Figg. 2-4 riportano, per ogni Provincia, il numero di identificazione delle stazioni, quale appare nella prima colonna delle Tabb. 2-4. A livello provinciale le stazioni sono ripartite come segue:

- Provincia di Pordenone: 53 stazioni,
- Provincia di Udine: 58 stazioni,
- Provincia di Gorizia: 41 stazioni,
- Provincia di Trieste: 3 stazioni.

Le stazioni sono per lo più site in aree pianeggianti o collinari, in una fascia comprendente l'alta e la bassa Pianura Friulana, ed il Carso Triestino, escludendo aree alpine e prealpine. La maggior parte delle stazioni si trova presso discariche autorizzate, abusive o abbandonate, in punti segnalati dalla Regione come potenziali aree a rischio. Alcune però sono state localizzate in modo casuale, in modo da ottenere una distribuzione più omogenea sul territorio, per individuare eventuali fenomeni diffusionali. Per ogni stazione sono state compilate delle schede

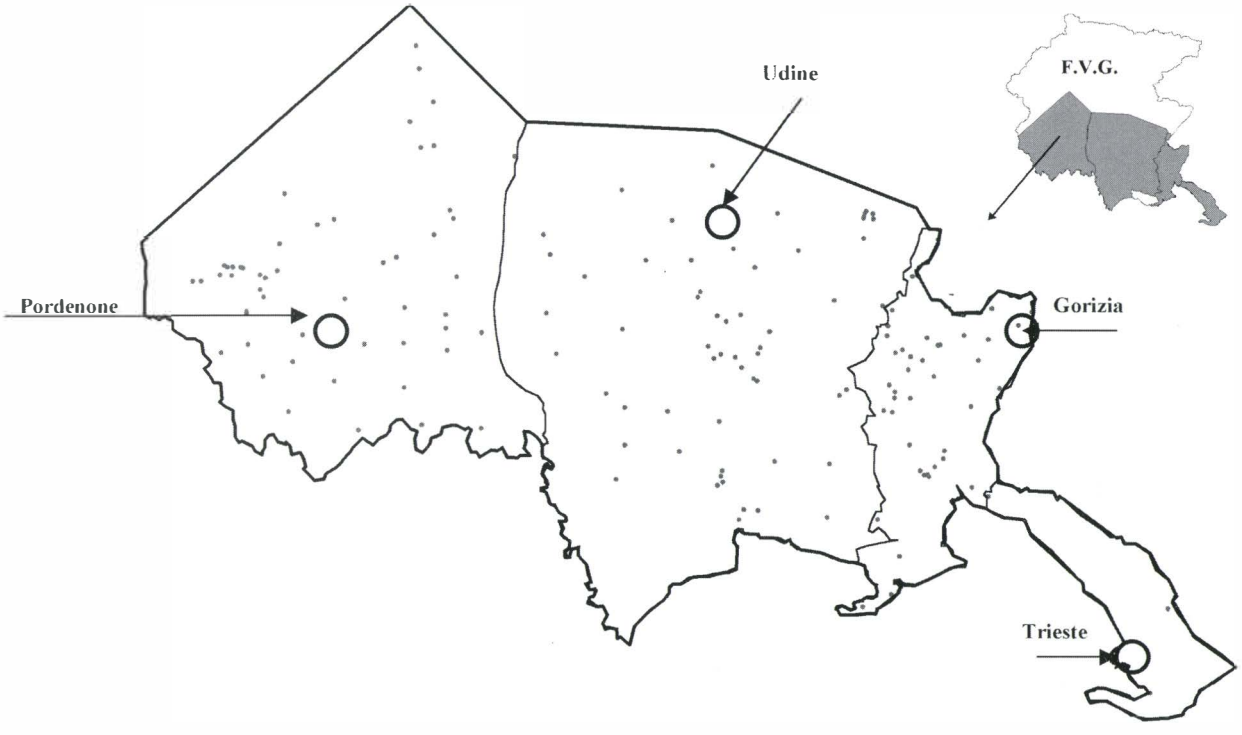

Fig. 1 - Localizzazione delle stazioni di campionamento nelle Provincie di Pordenone, Udine, Gorizia e Trieste.
Location of the sampling stations in the Provinces of Pordenone, Udine, Gorizia and Trieste.

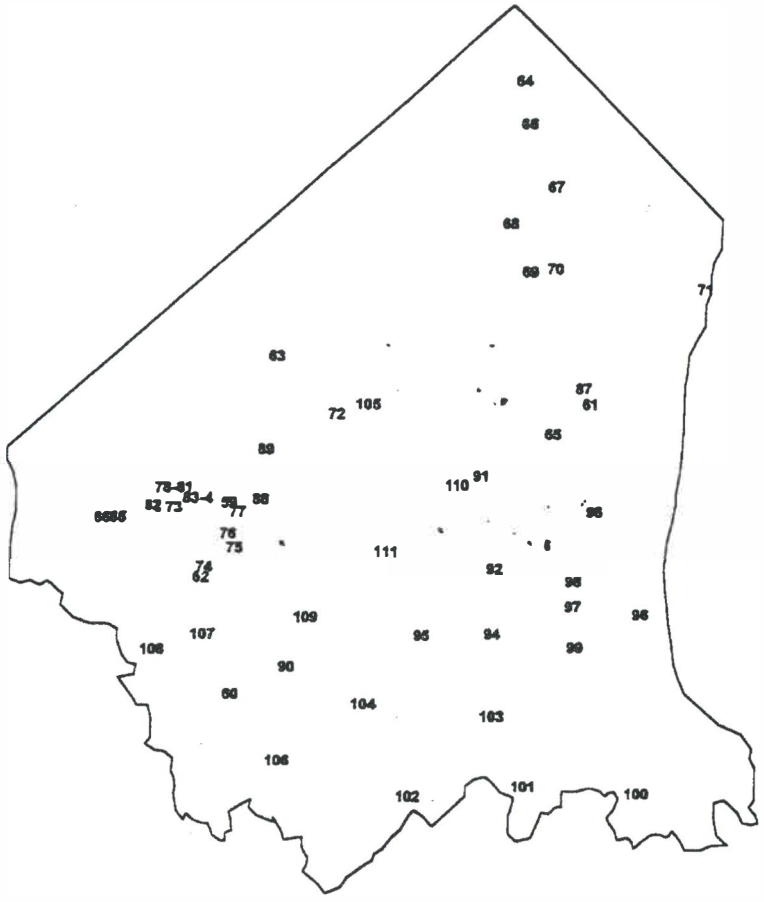

Fig. 2 - Localizzazione delle stazioni di campionamento nella Provincia di Pordenone.
Location of the sampling stations in the Province of Pordenone.

con la descrizione del sito, la distanza dalla presunta fonte di contaminanti, ed il tipo di alberi su cui è stata effettuato il campionamento (dati non riportati per ragioni di spazio). Ove possibile, i prelievi sono stati eseguiti lontano da strade con intenso traffico, o lungo strade poco frequentate, per ridurre l'influenza delle emissioni veicolari.

In ogni stazione sono stati individuati almeno due alberi corrispondenti agli standards stabiliti dal metodo illustrato da Nimis & Bargagli (1999), che sono:

a) inclinazione del tronco non superiore a 10°, per evitare l'eccessiva eutrofizzazione di superfici molto inclinate;
b) assenza di fenomeni evidenti di disturbo (verniciature, presenza di chiodi, puntine, etc.);
c) assenza di forte copertura di muschi.

Sono state evitate parti concave del tronco, in cui può scorrere l'acqua trattenuta dalle chiome degli alberi. I campioni, prelevati al di sopra di 70 cm dal suolo per evitare contaminazioni da materiale terrigeno, consistevano in un miscuglio di almeno cinque talli provenienti da almeno due alberi diversi.

I licheni, staccati dal substrato con un temperino in acciaio inossidabile, sono stati inseriti in una busta di carta. È stata prelevata solo la parte periferica del tallo, priva di rizine, cresciuta circa negli ultimi dodici mesi (Nimis & Bargagli 1999).

Il materiale è stato ripulito al microscopio binoculare per eliminare materiali estranei, e seccato a temperatura ambiente (H_2O residua $< 3\%$), in quanto l'essiccamento in stufa determina la parziale volatilizzazione del Mercurio, con bassa tensione di vapore. Prima del trattamento chimico, il materiale è stato triturato ed omogeneizzato (Bargagli *et al.* 1985).

Analisi spettrofotometriche

Le analisi spettrofotometriche sono state effettuate dall'équipe del Prof. R. Bargagli, presso il Dipartimento di Biologia Ambientale dell'Università di Siena.

Circa 150 mg di materiale sono stati mineralizzati in contenitori di Teflon sotto pressione a 120°C per sei ore mediante HNO_3 concentrato (Stoeppler & Backhaus 1978). Per verificare il disturbo di fondo dato dallo strumento, è stata preparata anche una prova in bianco, ponendo in un contenitore di Teflon solo i reagenti. Dopo la digestione, il contenuto di ciascun contenitore è stato lasciato raffreddare e portato ad un volume di 10 ml con acqua distillata. Le concentrazioni degli elementi sono state determinate tramite spettrofotometria ad assorbimento atomico. E' stata usata la fiamma aria/acetilene per Zn, Fe, Mn, Cu, Ni, As, Se, Te, Ba, Be, V e Cr, la fornace a grafite per Pb, Cd ed Al, la tecnica del vapore freddo per Hg.

Per verificare l'attendibilità delle procedure di pretrattamento ed analisi, durante le digestioni è stato impiegato lo «*Standard Reference Material*» relativo a materiale lichenico, dotato di certificazione delle concentrazioni degli elementi (*CRM 482 - BCR, European Commission*).

Per determinare le concentrazioni degli elementi è stato eseguito il metodo delle aggiunte interne: in quattro contenitori di Teflon è stata posta la stessa quantità di campione e in tre di essi, prima della digestione, sono state aggiunte concentrazioni note crescenti degli elementi da determinare. Le determinazioni sono state ripetute quattro volte.

Elaborazioni 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 per Windows, Golden Software Inc. 1989). 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

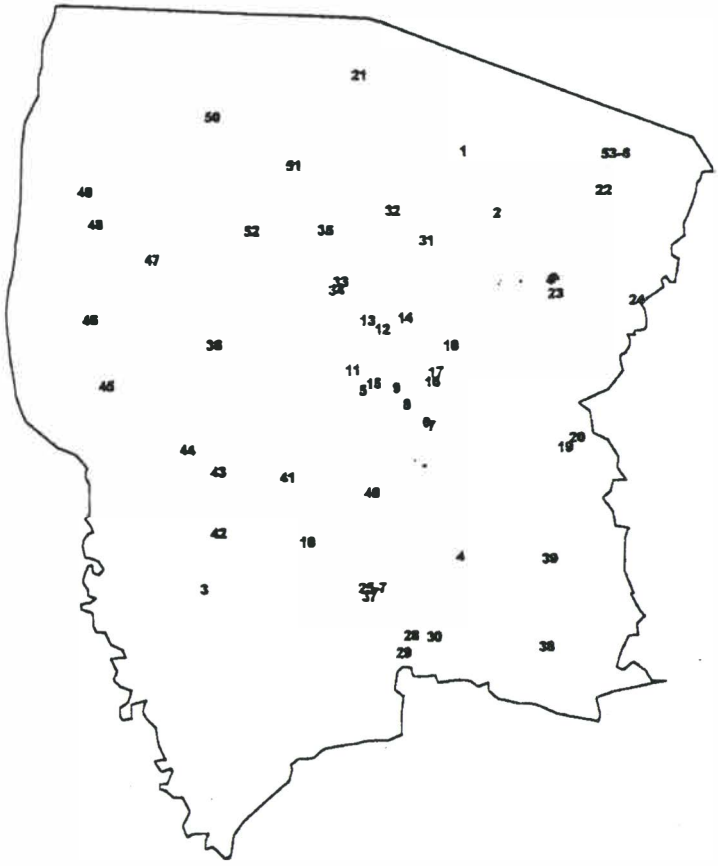

Fig. 3 - Localizzazione delle stazioni di campionamento nella Provincia di Udine.
Location of the sampling stations in the Province of Udine.

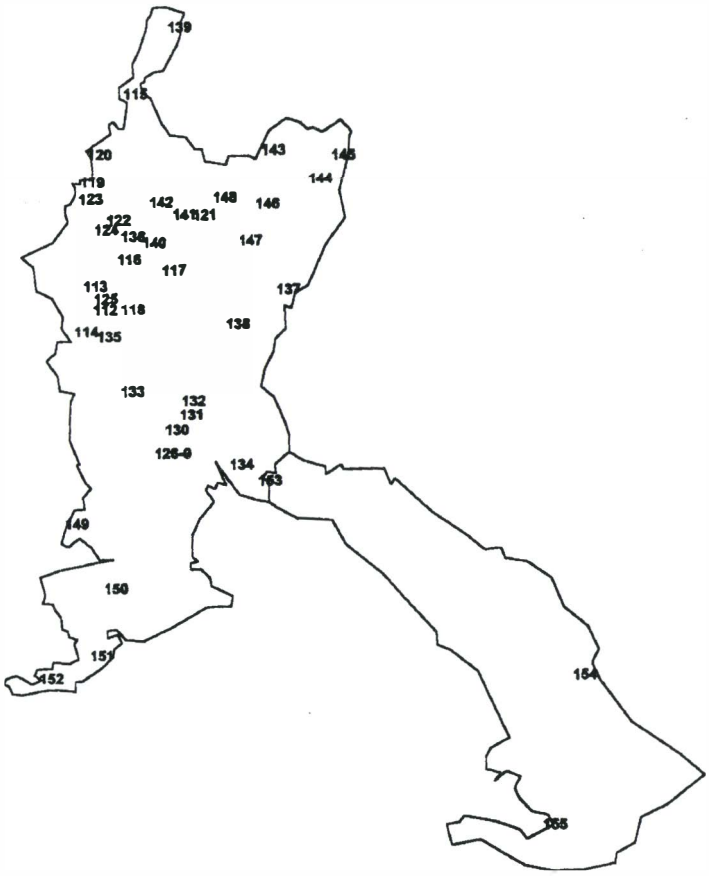

Fig. 4 - Localizzazione delle stazioni di campionamento nelle Province di Gorizia e Trieste.
Location of the sampling stations in the Provinces of Gorizia and Trieste.

circostanti, elevato al quadrato (*Inverse Distance to a Power*). Per tutti i metalli si è adottato il minimo numero possibile di punti vicini, e cioè dieci, ritenuto adeguato sia alla densità delle stazioni che alla geomorfologia pianeggiante del territorio. Le fonti presunte sono principalmente discariche, da cui non si possono ipotizzare diffusioni a largo raggio, come quelle favorite da processi di combustione che terminano in camini e ciminiere. Data la relativamente bassa densità di stazioni, e il tipo di siti potenzialmente inquinanti, queste carte vanno comunque considerate solo come un mezzo per visualizzare i risultati più rilevanti, ed evidenziare eventuali patterns geografici.

Le concentrazioni dei metalli nelle 155 stazioni sono stati normalizzate, ed i metalli sono stati sottoposti a classificazione con il coefficiente di correlazione come misura di somiglianza e la minima varianza come algoritmo di clustering, per evidenziare clusters con simili patterns geografici. I dati del Mercurio non sono stati inclusi, in quanto questi mancano per alcune stazioni, a causa di errori strumentali. Per ciascun cluster è stata costruita una mappa che mostra le distribuzioni congiunte dei metalli in esso inclusi.

Programmi di analisi statistica (Excel 5.0, Microsoft Inc.) hanno permesso di individuare possibili correlazioni tra metalli, verificate principalmente con test di regressione lineare.

Interpretazione dei risultati

Nella quasi assoluta assenza di dati strumentali sulle deposizioni di metalli nell'area di studio, come peraltro in tutta Italia, è impossibile esprimere una relazione quantitativa tra le concentrazioni di un metallo nei licheni ed i corrispondenti valori in aria o al suolo. Tuttavia, vi sono almeno tre approcci per stimare la magnitudo dell'alterazione ambientale:

1) *Comparazione con i valori di background,* che riflettono situazioni naturali o prossime alla naturalità. I valori di background per *Xanthoria parietina* sono stati calcolati come media dei valori minimi in studi analoghi svolti in altre parti d'Italia: Veneto (Morandi 1998), Macerata (Gasparo *et al.* 1989), Alto Vicentino (Nimis *et al.* 1992), Montalto di Castro (Nimis, ined.), Treviso (Nimis *et al.* 1996); per due metalli, Se e

Tab. 1 - Scale dei livelli di naturalità/alterazione; le concentrazioni sono espresse in ppm
Per ulteriori commenti vedere testo.
Scales of the levels of naturality/alteration; concentrations are in ppm (see text).

Nr. Misure			606	415	330	203	636
Percentili	*Nat./Alterazione*	*Colori*	Al	As	Ba	Be	Cd
20°perc.	1- Nat. molto alta	Blu	<350	<0,2	<3,3	<0,04	<0,2
50°perc.	2 - Nat. alta	Verde scuro	600	0,6	6,0	0,08	0,4
75°perc.	3 -Nat. media	Verde chiaro	1000	1,2	10,0	0,12	0,8
90°perc.	4 - Nat./Alter. basse	Giallo	1600	1,9	18,0	0,60	1,4
95°perc.	5- Alter. media	Arancione	2500	2,4	25,0	0,90	2,0
98°perc	6- Alter. alta	Rosso	3200	3,0	35,0	1,15	2,6
	7 -Alter. molto alta	Cremisi	>3200	>3,0	>35,0	>1,15	>2,6
Max Italia			8390	5,5	78,7	1,62	9,0

634	636	627	485	629	635	679	199	178	396	679
Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	Te	V	Zn
<1,2	<6	<270	<0,07	<20	<1,0	<3	<0,04	<0,05	<0,6	<30
2,2	9	500	0,12	25	2,0	9	0,15	0,20	1,7	40
4,0	14	750	0,20	35	3,0	20	0,30	0,35	3,2	66
6,3	20	1200	0,27	60	5,0	55	0,40	0,53	5,4	96
9,0	26	1500	0,37	90	6,2	80	0,70	0,66	6,8	120
16,0	36	1800	0,50	150	8,0	110	0,90	0,76	9,4	160
>16,0	>36	>1800	>0,50	>150	>8,0	>110	>0,90	>0,76	>9,4	>160
60,5	161	4276	1,07	685	34,4	494	1,43	1,03	15,02	358

Te, in assenza di altri dati, i background sono stati calcolati con i minimi locali. Questi dati permettono di calcolare il rapporto tra le concentrazioni in una stazione ed il valore di background, inteso come stima della magnitudo dell'alterazione ambientale. Ciò riduce eventuali sovrastime nella valutazione del grado di alterazione ambientale (i background sono influenzati da fattori indipendenti dall'inquinamento, quali la costituzione litopedologica del territorio). Un'analisi comparativa con i massimi italiani riduce il rischio di sovra- o sottostimare il reale tasso di alterazione.

2) *Comparazione con il valore minimo nell'area di studio.* In questo caso l'alterazione ambientale è espressa da un multiplo del minimo locale. Questo approccio ha il vantaggio di rendere omogenei molti dei fattori che influenzano le concentrazioni di metalli nei licheni (specie, tipo di albero, metodi di misura, caratteristiche litologiche dell'area di studio), lo svantaggio di nascondere fenomeni di contaminazione diffusi su tutta l'area.

3) *Scala nazionale.* Questo approccio – privilegiato in questo lavoro – si basa sull'analisi di migliaia di misure relative al territorio italiano, effettuate su diverse specie di licheni foliosi epifiti, in aree litologicamente diverse, e con situazioni d'inquinamento diverse, seguendo procedure simili a quelle proposte da Nimis & Bargagli (1999). Le scale, riportate in Tab.1, derivano da un'analisi delle distribuzioni dei valori di concentrazione di metalli nei licheni, per metalli con almeno 100 misure in almeno tre aree diverse d'Italia. Esse esprimono la deviazione dei valori di concentrazione da condizioni «naturali». La classe 1 rappresenta la situazione di massima naturalità, con valori molto simili ai background calcolati come medie dei minimi sinora riscontrati in Italia in *Xanthoria* (v. Tab. 5). Le scale di Tab. 1 sono una prima approssimazione, passibile di modifiche ed integrazioni non appena ulteriori dati saranno disponibili.

La valutazione sintetica dei risultati si basa sui dati delle Tabb. 8 (Pordenone), 9 (Udine), 10 (Gorizia e Trieste) in cui si riportano, per ogni stazione:

1) valori di naturalità/alterazione per tutti i metalli,

2) indice sintetico di naturalità,

3) indice sintetico di alterazione,

4) carico totale di metalli,

5) indice sintetico di tossicità potenziale.

Il carico totale di ogni stazione è stato calcolato sommando i valori degli indici di naturalità/alterazione di tutti i metalli (Tab. 1), e normalizzando i totali su una scala da 1 a 10.

Gli indici sintetici sono stati calcolati come proposto da Nimis (1999a). La matrice delle concentrazioni dei metalli nelle stazioni è stata trasformata in una matrice in cui le concentrazioni sono sostituite dalle corrispondenti sette classi di naturalità/alterazione ambientale (v. Tab. 1); viene costruita da questa una nuova matrice che riporta, per ogni stazione, il numero di metalli che rientrano in ogni classe.

L'indice sintetico di naturalità (*I.N.*), che assume valori compresi tra 0 e 10, viene calcolato

sulla base di quest'ultima matrice secondo la seguente formula:

$$I.N._{(i)} = 10 * \left(\frac{\sum_{j=1}^{2} (3 - x_j) * y_i}{2n} \right)$$

Dove:

i = stazione i-esima
n = numero di metalli
j = classe di naturalità/alterazione
x_j = valore della classe j
y_i = numero di metalli della stazione i-esima che ricadono nella classe j.

L'indice sintetico di alterazione (*I.A.*), che assume valori compresi tra 0 e 10, è stato calcolato sulla base della stessa matrice con la seguente formula:

$$I.A._{(i)} = 10 * \left(\frac{\sum_{j=6}^{7} (x_j - 5) * y_i}{2n} \right)$$

L'indice sintetico di tossicità potenziale (*T.P.*) di ogni stazione è stato calcolato in base a una nuova matrice ottenuta moltiplicando la matrice di metalli e stazioni con un vettore-riga α che attribuisce ad ogni metallo un indice di tossicità compreso tra 0 e 2, come segue:

- tossicità 0: attribuita a Fe, Al e Mn, metalli scarsamente tossici, anche ad elevate concentrazioni. In pratica, questi metalli non vengono considerati nel calcolo della tossicità potenziale delle stazioni.
- tossicità 1: attribuita a Ba, Cu, Ni, Se, Te e Zn, metalli tossici solo a concentrazioni elevate.
- tossicità 2: attribuita ad As, Be, Cd, Cr, Hg, Pb e V, metalli tossici anche a concentrazioni relativamente basse.

La tossicità potenziale (*T.P.*), che assume valori compresi tra 0 e 10, è stata calcolata sulla base della seguente formula:

$$T.P._{(i)} = 10 \frac{\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \alpha_j}{7 \sum_{j=1}^{n} \alpha_j}$$

dove

n = numero di metalli
x^{ij} = classe di naturalità/alterazione per il metallo j-esimo nella stazione i-esima.
α^j = valore dell'indice di tossicità potenziale per il metallo j.

Il denominatore è una costante che dipende dal numero di metalli considerati.

La valutazione della tossicità potenziale va intesa soltanto come uno strumento pratico per stimare il rischio-salute potenziale di ciascuna stazione: la tossicità per l'uomo non dipende dalle concentrazioni rilevate nei licheni, ma dall'apporto effettivamente inalato o ingerito, e dalla forma chimica dei metalli, fenomeni che vanno al di là dei limiti del presente studio.

Risultati

I risultati delle analisi spettrofotometriche dei 16 metalli nei talli lichenici sono riportati in Tab. 2 (Provincia di Pordenone), Tab. 3 (Provincia di Udine), e Tab. 4 (Provincie di Gorizia e Trieste). I valori minimi, massimi e medi locali e nazionali, la deviazione standard, i background e i relativi rapporti sono riportati nelle Tabb. 5-7.

Analisi multivariata della matrice metalli-stazioni

Una sintesi preliminare dei dati deriva dall'analisi multivariata della matrice di metalli e stazioni. La classificazione dei dati di Tabb. 2-4 ha prodotto il dendrogramma dei metalli (Fig. 5) che evidenzia i seguenti clusters:

- cluster 1: Se, Be, Te, Pb,
- cluster 2: Al, Fe, V, Mn, As, Ba,
- cluster 3: Zn, Cr, Ni, Cd, Cu.

La Fig. 6 (a-c) mostra le distribuzioni congiunte dei metalli dei tre clusters.

I metalli del cluster 1 hanno patterns eterogenei; quelli con maggior somiglianza, Selenio e Berillio (Fig. 5), non sono significativamente correlati (R = 0,17, v. Fig. 7), così come la seconda coppia di metalli, Tellurio e Piombo (R = 0,10). Ciò indica distribuzioni diverse, con massimi in stazioni diverse. Nonostante ciò, i metalli di questo cluster mostrano un chiaro pattern geografico (Fig. 6a), centrato sulla bassa Pianura Friulana, nella Provincia di Udine ed in parte in quella di Pordenone.

Anche i metalli del cluster 2 mostrano un chiaro pattern geografico, con i massimi in una vasta area a sud di Udine e nella parte centro-occidentale della provincia di Gorizia (Fig. 6 b). Questo cluster (v. Fig. 5) è piuttosto omogeneo, con alte correlazioni tra tutti metalli: Alluminio e Ferro (R = 0,93, P < 1%, Fig. 7), Alluminio e Vanadio (R = 0,85), Vanadio e Manganese (R =

Tab. 2 - Concentrazioni dei metalli (ppm) nelle stazioni di campionamento della Provincia di Pordenone.
Concentrations of the metals (ppm) in the stations of the Province of Pordenone.

N.	Stazione	Al	As	Ba	Be	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	Te	V	Zn
59	PN1	784	0,34	11,4	0,05	0,38	5	30,1	791	0,15	29,1	2,07	4,0	0,49	0,05	1,36	28,8
60	PN2	318	0,6	3,67	0,04	0,81	1,8	5,8	262	0,04	15,8	0,22	1,8	0,42	0,05	0,75	22,5
61	PN3	408	0,16	4,23	0,05	0,26	1,67	9,6	385	0,05	21,2	0,09	2,5	0,04	0,05	0,10	20,7
62	PN4	326	0,22	2,57	0,05	0,14	1,08	4,8	245	0,01	15,2	0,09	2,2	0,04	0,26	0,10	20,5
63	PN6	726	0,29	5,13	0,04	0,31	2,21	7,6	504	0,09	41,2	0,9	4,1	0,42	0,08	1,68	22,7
64	PN7	543	0,1	2,37	0,05	1,79	3,99	7,2	455	0,10	21,6	4,81	3,0	0,04	0,05	1,65	37,1
65	PN8	720	0,24	4,55	0,06	0,64	5,45	36,4	711	0,12	40	4,81	10,7	0,05	0,23	0,52	48,2
66	PN20	755	0,13	3,41	0,04	1,58	2,83	6,8	609	0,07	27,6	1,64	3,2	0,05	0,25	0,23	33,5
67	PN23	427	0,04	2,8	0,05	0,27	1,93	4	336	0,08	15,4	0,83	2,5	0,16	0,16	0,10	22,0
68	PN24	358	0,06	3,25	0,04	0,12	1,28	5	295	0,08	17,5	0,69	3,5	0,11	0,05	0,10	21,7
69	PN25	930	0,13	4,4	0,09	0,74	2,39	6,4	692	0,07	27	1,22	2,4	0,07	0,05	0,18	55,0
70	PN27	781	0,24	4,63	0,04	1	2,76	5,7	638	0,07	25	1,36	3,8	0,11	0,27	0,12	42,3
71	PN28	506	0,05	3,83	0,04	0,84	2,03	4,3	404	0,08	15,8	0,87	3,9	0,04	0,05	0,17	34,8
72	PN30	360	0,04	1,68	0,05	0,91	1,26	4,2	281	0,06	16,2	0,88	2,4	0,04	0,16	0,11	37,9
73	PN33	370	0,1	2,14	0,05	0,12	1,77	4,1	286	0,07	14,3	2,21	2,1	0,05	0,05	0,11	14,3
74	PN34	553	0,04	4,12	0,06	0,72	3,14	8,2	448	0,07	18,1	1,76	4,7	0,05	0,25	0,35	47,1
75	PN35	498	0,15	3,59	0,05	0,49	2,9	15,2	499	0,08	16,7	0,91	2,9	0,17	0,05	0,22	32,6
76	PN36	395	0,08	2,56	0,02	0,16	1,25	5,3	291	0,07	17,9	0,75	2,6	0,04	0,05	0,11	24,1
77	PN37	338	0,12	2,5	0,06	0,24	2,25	5	266	0,05	17,5	1,25	3,5	0,04	0,35	0,09	20,0
78	PN38	478	0,14	3,9	0,06	0,2	3,46	7,8	672	0,07	23,6	2,16	6,2	0,14	0,05	0,65	31,2
79	PN39	1198	0,25	5,31	0,06	0,21	3,95	6,2	880	0,07	29,4	2,06	4,7	0,04	0,05	1,73	27,2
80	PN40	241	0,05	1,94	0,05	0,15	2,8	5,4	192	0,07	16,6	0,9	2,5	0,04	0,05	0,09	15,1
81	PN41	231	0,04	2,13	0,05	0,24	2,1	5,6	208	0,05	13	0,77	2,3	0,05	0,48	0,09	25,9
82	PN42	265	0,04	1,67	0,02	0,17	1,16	4,5	214	0,06	18	0,51	1,2	0,04	0,16	0,09	27,3
83	PN43	265	0,04	2,31	0,04	0,31	1,03	4,6	227	0,06	16,2	0,64	2,4	0,08	0,37	0,09	23,1
84	PN44	578	0,04	1,39	0,02	0,14	10,9	17,2	543	0,03	27,9	34,4	1,8	0,05	0,05	0,25	71,3
85	PN45	564	0,04	5,05	0,02	0,13	3,12	16,8	607	0,04	24,3	1,8	2,2	0,04	0,18	0,93	37,4
86	PN46	414	0,21	4,58	0,02	0,12	3,8	6,9	417	0,06	15,3	2,01	3,1	0,04	0,05	1,11	26,4
87	PN47	211	0,04	2,34	0,02	0,35	2,62	5,3	257	0,06	16	1,28	2,7	0,17	0,07	0,64	33,0
88	PN48	386	0,19	3,24	0,02	0,14	1,92	6,3	368	0,05	18,9	0,87	3,0	0,28	0,09	0,63	28,8
89	PN49	511	0,06	4,43	0,02	0,15	2,58	6,6	497	0,05	23,6	2,05	4,3	0,74	0,36	0,28	35,8
90	PN50	165	0,05	2,82	0,02	0,08	1,72	4	177	0,07	12,9	0,78	1,7	0,76	0,05	0,97	21,0
91	PN51	241	0,17	4,16	0,02	0,14	1,6	3,2	251	0,06	13,6	3,08	85,6	0,04	0,05	0,09	19,2
92	PN101	334	0,15	2,69	0,15	0,47	1,73	8,31	223	0,12	24,6	1,56	4,4	0,14	0,17	0,85	27,1
93	PN102	576	0,13	3,64	0,16	0,78	2,53	10,5	435	0,11	22,3	0,43	10,0	0,32	0,29	0,78	54,6
94	PN103	593	0,15	3,1	0,08	0,53	1,7	7,07	420	0,08	17,3	0,29	12,8	0,23	0,22	1,03	33,3
95	PN104	516	0,18	3,12	0,09	0,31	2,8	7,27	402	0,11	14,1	2,37	14,0	0,05	0,72	1,28	35,5
96	PN105	432	0,22	6,59	0,08	0,77	2,26	10,9	404	0,11	16,5	0,57	12,0	0,18	0,24	1,01	35,9
97	PN106	333	0,11	3,19	0,09	0,52	1,58	7,17	284	0,12	19,3	0,82	8,0	0,21	0,38	0,27	27,6
98	PN107	460	0,14	5,36	0,09	0,5	4,5	12	500	0,12	22,9	1,32	22,4	0,04	0,25	0,80	41,5
99	PN108	810	0,15	4,38	0,08	0,35	2,47	11,3	619	0,09	26,7	0,99	10,2	0,05	0,38	0,62	39,5
100	PN109	430	0,15	3,21	0,08	0,24	1,98	13,5	303	0,11	17,5	0,84	7,5	0,04	0,39	0,61	26,0
101	PN110	405	0,14	3,15	0,08	0,36	1,92	8,93	322	0,11	20,6	0,44	8,8	0,42	0,07	1,18	39,5
102	PN111	1058	0,25	5,32	0,09	0,49	4	12,4	800	0,10	19,4	1,35	24,7	0,27	0,05	1,56	40,0
103	PN112	671	0,14	3,5	0,07	0,32	2,11	7,36	540	0,13	19,8	0,27	10,5	0,04	0,12	1,31	26,7
104	PN113	437	0,12	2,85	0,08	0,28	2,08	7,82	345	0,11	17,9	0,85	7,7	0,36	0,71	0,85	26,0
105	PN114	439	0,13	2,94	0,08	0,48	1,86	8,93	368	0,08	19,3	0,73	12,8	0,05	1,03	0,63	26,6
106	PN115	274	0,15	2,45	0,09	0,28	1,78	7,53	244	0,09	14,1	2,85	5,7	0,04	0,07	0,73	22,7
107	PN116	388	0,12	4,85	0,08	0,25	1,7	8,17	329	0,07	24	0,28	12,7	0,04	0,48	0,92	30,5
108	PN117	261	0,13	3,13	0,08	0,17	1,38	6,61	202	0,06	15,4	0,09	5,4	0,09	0,54	1,09	21,3
109	PN118	431	0,15	3,64	0,08	0,28	2,09	8,32	354	0,12	27,9	0,42	13,4	0,09	0,35	0,53	30,7
110	PN119	422	0,18	2,44	0,08	0,82	1,31	7,02	318	0,07	17,4	0,73	4,8	0,04	0,05	0,87	37,7
111	PN120	379	0,11	1,94	0,08	0,78	2,44	6,42	332	0,09	16,5	0,71	6,7	0,04	0,05	0,39	35,1

Tab. 3 - Concentrazioni dei metalli (ppm) nelle stazioni di campionamento della Provincia di Udine.
Concentrations of metals (ppm) in the stations of the Province of Udine.

N.	Stazione	Al	As	Ba	Be	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	Te	V	Zn
1	UD2	527	0,09	4,08	0,04	0,62	3,83	5,8	500	0,11	24,2	2,78	7,5	0,04	0,33	2,63	36,3
2	UD3	762	0,15	4,27	0,02	0,62	2,47	2,2	652	0,07	25,8	2,25	4,0	0,96	0,24	3,37	39,2
3	UD5	199	0,08	1,57	0,02	0,34	3,48	4,3	191	0,01	12,2	0,29	0,9	0,87	0,07	1,04	22,7
4	UD6	188	0,06	1,75	0,02	1,95	4,42	4,2	183	0,28	13,3	0,28	1,0	0,36	0,15	1,88	21,8
5	UD8	1989	0,63	9,38	0,12	0,33	9,06	9,1	1500	0,10	46,1	5,21	13,2	0,11	0,07	4,57	40,9
6	UD9	1951	0,59	9,35	0,11	0,29	9	8,9	1491	0,11	45,8	5,14	12,9	0,09	0,06	4,51	41,1
7	UD10	2788	0,84	17,9	0,12	0,42	9,61	26,6	1563	0,13	90,6	7,81	11,3	0,04	0,05	6,68	54,5
8	UD11	868	0,25	7,3	0,02	0,36	3,17	29,4	762	0,08	39,7	3,17	2,5	0,34	0,31	2,62	20,8
9	UD12	924	0,34	6,7	0,02	0,29	3,02	21,7	792	0,08	37,7	2,52	5,9	0,04	0,05	1,27	24,7
10	UD13	288	0,08	2,18	0,02	1,2	5,91	4,5	209	0,06	24,5	0,3	1,3	1,43	0,35	1,50	31,7
11	UD15	1222	0,34	8,21	0,06	0,32	8,08	95,3	1026	0,09	62,8	3,85	9,7	0,04	0,05	2,69	22,4
12	UD16	952	0,38	5,57	0,03	0,31	6,03	11	508	0,13	38,9	2,71	8,8	0,09	0,19	0,14	32,1
13	UD17	949	0,41	5,4	0,02	0,27	5,99	10,9	511	0,11	39,4	2,68	9,1	0,10	0,22	0,11	31,8
14	UD18	1156	0,59	6,5	0,07	0,39	15	8,4	1105	0,10	53,8	4,62	14,8	0,04	0,05	2,31	54,9
15	UD20	717	0,21	4,47	0,02	0,53	3,16	6,6	474	0,13	22,4	1,32	5,5	0,04	0,11	1,58	34,4
16	UD21	1182	0,45	7,19	0,02	0,41	6,79	10,1	821	0,07	32,9	3,11	9,8	0,05	0,06	2,48	25,1
17	UD22	1175	0,43	7,23	0,02	0,38	6,74	9,9	816	0,08	32,6	3,07	10,1	0,04	0,05	2,55	24,7
18	UD23	1141	0,31	10,9	0,02	0,58	5,57	21,3	680	0,08	33,6	2,46	9,2	0,12	0,16	2,83	28,6
19	UD24	1220	0,45	24,4	0,02	0,63	4,55	7,3	818	0,06	38,2	2,42	11,6	0,52	0,55	3,27	47,6
20	UD25	1253	0,33	6,03	0,02	1,2	4,55	5,8	785	0,11	36,4	3,03	6,5	0,12	0,05	2,60	36,0
21	UD26	1540	0,74	10,6	0,04	0,31	6,06	4,5	932	0,07	65,2	4,04	10,5	0,22	0,15	3,18	39,6
22	UD27	1445	0,54	8,37	0,02	0,34	4,52	18,3	913	0,07	48,1	2,88	13,3	0,14	0,13	3,75	33,5
23	UD28	724	0,15	6,82	0,02	0,3	2,95	6,8	530	0,05	41,7	2,27	9,4	0,11	0,08	2,16	39,6
24	UD29	385	0,13	3,97	0,08	0,21	1,36	9,9	329	0,14	18,2	1,5	3,9	0,78	0,09	0,74	33,1
25	UD30	263	0,12	5,63	0,05	0,84	12,5	9,7	530	0,09	22,3	0,76	5,2	0,74	0,05	0,49	43,5
26	UD31	399	0,09	2,6	0,06	1,71	8,37	5,2	457	0,12	22,1	3,04	9,7	0,41	0,62	1,17	64,9
27	UD32	276	0,08	3,27	0,05	0,55	8,96	13,9	587	0,12	22,8	3,86	6,7	0,09	0,14	0,79	43,2
28	UD33	297	0,13	1,45	0,04	0,6	26,3	8	369	0,18	20,3	2,26	3,5	0,13	0,05	1,16	43,5
29	UD34	212	0,06	0,83	0,02	0,21	3,48	5,8	161	0,13	15,7	0,75	2,0	0,15	0,05	0,99	33,1
30	UD35	623	0,14	2,28	0,02	1,14	4,35	7,4	477	0,14	22,1	1,72	2,6	0,04	0,21	2,06	47,8
31	UD54	1310	0,49	12,7	0,09	0,48	60,5	13,8	2226	0,17	89	9,06	27,4	0,05	0,2	3,94	110,1
32	UD55	639	0,12	4,44	0,04	0,54	4,73	7,4	446	0,12	22,2	1,54	7,4	0,20	0,14	0,89	51,9
33	UD56	665	0,19	6,2	0,04	1,25	5,92	10,1	682	0,07	34,9	2,21	10,7	0,04	0,06	2,09	85,3
34	UD57	1458	0,33	8,41	0,07	2,26	20,4	13,2	1533	0,09	83,4	5,5	15,8	0,05	0,05	2,45	92,7
35	UD59	1174	0,21	8,96	0,06	0,49	4,83	11,7	812	0,10	47,4	3,2	5,9	0,04	0,06	3,12	51,9
36	UD60	1235	0,35	11,5	0,04	0,47	35,2	21,4	1345	0,16	51,3	4,22	20,2	0,08	0,52	2,91	68,4
37	UD301	155	0,12	8,33	0,02	0,39	2,53	6,1	295	0,06	21,7	0,3	6,4	0,34	0,76	0,90	36,8
38	UD302	273	0,16	1,35	0,08	0,35	2,07	14,1	225	0,09	17,5	1,39	36,1	0,04	0,77	0,90	22,3
39	UD303	425	0,09	2,52	0,09	0,36	1,52	10,6	349	0,07	16,3	0,98	15,7	0,15	0,74	0,19	18,2
40	UD304	369	0,29	2,46	0,09	0,29	2,86	8,39	362	0,26	21,6	1,78	15,8	0,15	0,53	0,34	33,6
41	UD305	488	0,07	2,77	0,08	0,22	2,69	7,62	365	0,20	14,4	2,63	30,1	0,05	0,41	0,69	19,3
42	UD306	484	0,1	2,95	0,08	0,23	3,29	10,5	380	0,10	24,7	2,45	16,5	0,05	0,05	1,09	34,1
43	UD307	492	0,24	2,78	0,09	0,27	4,22	10,3	385	0,20	22,2	4,35	9,5	0,10	0,44	0,70	26,2
44	UD308	451	0,48	3,26	0,08	0,47	4,26	11,1	433	0,09	24,7	2,39	9,8	0,17	0,37	0,76	33,9
45	UD309	750	0,52	4,52	0,09	0,31	3,91	13,7	545	0,15	34,9	2,75	22,1	0,14	0,42	0,70	43,0
46	UD310	622	0,24	8,29	0,08	0,63	3,88	14	491	0,09	24,3	2,65	9,4	0,05	0,5	0,85	37,8
47	UD311	424	0,12	3,01	0,1	0,23	4,58	12,3	330	0,09	34,1	3,83	9,4	0,07	0,27	0,49	36,4
48	UD312	503	0,28	3,55	0,09	0,25	3,98	8,45	368	0,09	43,2	2,15	9,4	0,19	0,36	0,36	31,1
49	UD313	585	0,52	3,26	0,08	0,32	3,03	10,1	448	0,09	26,4	3,78	9,4	0,07	0,27	0,30	30,2
50	UD314	480	0,5	3,56	0,09	0,38	2,22	9,41	384	0,09	23	0,89	14,4	0,04	0,31	0,59	32,3
51	UD315	387	0,29	3,08	0,08	0,17	3,27	9,31	321	0,07	22,9	1,01	15,1	0,04	0,19	0,08	31,0
52	UD316	366	0,2	7,48	0,08	0,44	1,98	10,2	338	0,07	19,3	1,46	11,3	0,04	0,23	0,87	25,6
53	F1	465	0,26	2,92	0,11	0,13	4,68	10,1	404	0,03	22,4	4,13	16,4	0,04	0,47	1,67	31,8
54	F2	615	0,16	4,25	0,09	0,06	3,8	12,7	494	0,09	46,8	3,86	15,1	0,04	0,34	1,79	37,6
55	F3	678	0,68	5,84	0,11	0,2	3,23	12,1	548	0,04	28,8	3,83	19,5	0,26	0,05	2,51	43,2
56	F4	315	0,24	2,37	0,12	0,1	2,6	5,49	221	0,06	19,4	1,01	7,9	0,21	0,23	1,83	25,0
57	F5	378	0,23	5,1	0,12	0,68	2,12	10,4	368	0,03	21,8	0,39	8,8	0,14	0,58	0,94	31,9
58	F6	370	0,1	2,66	0,1	0,08	3,37	10	315	0,02	28,4	1,7	10,8	0,08	0,05	0,93	43,5

Tab. 4 - Concentrazioni dei metalli (ppm) nelle stazioni di campionamento delle Provincia di Gorizia e Trieste.
Concentrations of the metals (ppm) in the stations of the Provinces of Gorizia and Trieste.

N.	Stazione	Al	As	Ba	Be	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	Te	V	Zn
112	GO1	870	0,26	4,15	0,06	0,3	12,4	11	734	0,14	25,6	2,38	6,9	0,04	0,05	4,15	48,8
113	GO2	6000	0,75	30,3	0,19	0,21	22,3	10,2	4276	0,08	80,1	12,4	2,8	0,04	0,08	12,55	40,6
114	GO3	323	0,04	1,34	0,04	1,03	7,11	6,7	240	0,11	15,2	0,81	2,5	0,20	0,4	1,07	35,7
115	GO4	192	0,04	10,7	0,02	0,55	2,15	8,8	189	0,10	23,1	1,77	10,5	0,04	0,38	0,68	45,2
116	GO5	154	0,04	1,91	0,02	0,64	1,21	9,2	163	0,14	22,9	0,79	13,1	0,04	0,16	1,53	49,6
117	GO9	615	0,23	6,96	0,02	0,13	0,98	10,8	472	0,13	33,4	0,78	40,0	0,18	0,05	0,88	30,9
118	GO10	452	0,04	1,78	0,02	0,34	4,75	15,6	329	0,13	27,8	4,91	3,8	0,04	0,79	2,78	83,3
119	GO11	391	0,04	5,12	0,02	0,26	2,53	7,2	348	0,11	20	1,25	3,3	0,22	0,25	1,52	28,0
120	GO12	447	0,2	6,25	0,03	0,72	4,96	21,1	329	0,15	29,6	5,96	3,1	0,04	0,05	0,79	26,6
121	GO13	465	0,14	6,35	0,06	0,87	2,04	5,9	286	0,10	23,5	1,57	9,7	0,24	0,05	1,65	34,9
122	GO14	456	0,17	6,39	0,05	0,85	2,09	6,1	292	0,11	23,9	1,60	9,1	0,20	0,05	1,71	35,2
123	GO15	799	0,6	20,1	0,07	0,22	5,13	5,7	429	0,01	24,3	0,09	10,6	0,71	0,05	0,14	23,1
124	GO16	313	0,16	4,02	0,05	0,35	2,58	20,6	210	0,04	20,6	1,05	4,0	0,39	0,05	0,88	18,5
125	GO17	211	0,22	4,88	0,06	0,27	7,27	6	323	0,05	13,1	0,09	2,9	0,60	0,48	0,36	25,7
126	GO20	402	0,23	3,3	0,04	0,34	2,41	17,9	255	0,06	27,7	0,09	4,3	0,36	0,05	0,63	12,0
127	GO21	411	0,41	6,7	0,05	0,33	3,01	17,1	229	0,01	28	0,70	6,1	0,90	0,05	0,08	29,8
128	GO22	406	0,38	6,5	0,06	0,29	2,99	17,5	232	0,01	25	0,67	5,8	0,88	0,05	0,09	30,3
129	GO23	402	0,23	3,3	0,04	0,34	2,41	17,9	255	0,06	27,7	0,09	4,3	0,36	0,05	0,63	12,0
130	GO24	493	0,32	5,49	0,05	0,81	3,17	25,5	448	0,09	22,5	0,78	7,5	0,20	0,05	0,59	115,1
131	GO25	467	0,3	4,06	0,07	0,44	2,52	8,7	373	0,05	29	0,39	9,7	0,43	0,37	1,01	39,1
132	GO26	148	0,06	54,8	0,02	0,46	1,4	5,6	230	0,08	12,1	0,86	3,5	0,40	0,07	0,89	26,1
133	GO27	432	0,32	5	0,08	0,76	3,99	4,5	325	0,07	13,6	0,09	2,1	0,91	0,05	0,45	16,3
134	GO28	1026	0,47	32,8	0,08	0,9	4,26	7,6	847	0,08	22,9	1,36	5,8	0,59	0,28	1,69	32,0
135	GO29	478	0,29	9,2	0,06	0,88	3,33	5,7	519	0,07	17	1,21	2,5	0,23	0,05	1,02	30,6
136	GO30	267	0,04	2,63	0,02	0,46	3,78	11,6	331	0,08	17,9	1,4	3,5	0,04	0,16	0,74	28,4
137	GO31	516	0,1	3,17	0,04	0,16	0,79	6,3	448	0,06	27,1	0,48	40,2	0,04	0,15	0,79	37,1
138	GO32	414	0,16	1,79	0,02	0,02	1,29	5,3	344	0,07	31,3	1,68	12,2	0,11	0,13	0,09	48,3
139	GO44	339	0,14	3,66	0,12	0,17	1,2	7,11	225	0,06	20,6	0,6	7,6	0,04	0,34	1,00	31,4
140	GO64	301	0,1	2,68	0,09	0,06	3,33	12,4	281	0,02	20,7	2,6	28,3	0,04	0,05	0,77	33,5
141	GO66	549	0,17	4,35	0,08	0,1	1,72	18,5	430	0,10	26	1,1	18,9	0,10	0,05	1,36	38,5
142	GO70	460	0,21	3,99	0,13	0,09	4,25	11,6	347	0,02	21	2,27	7,8	0,06	0,2	1,44	31,9
143	GO74	380	0,08	3,24	0,12	0,34	1,73	12,1	310	0,07	21,2	0,61	8,8	0,06	0,05	0,86	29,0
144	GO84	772	0,25	4,85	0,11	0,38	3,48	15,1	646	0,03	26,5	3,7	22,3	0,06	0,05	2,09	37,4
145	GO86	375	0,22	2,4	0,08	0,54	2,19	7,33	418	0,09	21,1	0,88	11,6	0,23	0,11	1,06	48,9
146	GO87	197	0,15	2,67	0,09	0,03	1,3	12,9	168	0,02	24,3	0,73	5,4	0,11	0,05	0,63	28,8
147	GO89	250	0,08	2,33	0,1	0,2	1,48	11,6	224	0,01	25,8	0,83	12,0	0,04	0,55	1,37	36,8
148	GO95	320	0,19	2,74	0,09	0,21	3,33	8,93	314	0,09	19,7	2,8	8,9	0,04	0,22	1,00	34,0
149	GO207	469	0,14	3,72	0,08	0,08	2,46	8,54	377	0,09	22,2	1,65	23,1	0,04	0,65	1,52	31,8
150	GO208	607	0,2	3,26	0,08	0,16	4,41	9,92	516	0,03	31,8	2,8	9,4	0,08	0,05	1,63	40,6
151	GO209	293	0,13	1,78	0,08	0,67	2,82	8,08	252	0,18	16,8	2,67	7,0	0,08	0,05	1,28	36,9
152	GO210	333	0,22	3,29	0,09	0,99	3,84	8,87	338	0,09	17,1	2,81	22,7	0,15	0,25	1,06	65,0
153	TS1	724	0,16	3,5	0,04	0,44	1,45	8,9	463	0,08	19,7	4,72	19,3	0,06	0,05	0,98	35,9
154	TS5	266	0,04	4,79	0,04	0,19	1,61	6,6	271	0,07	15,5	0,33	10,3	0,13	0,05	0,33	40,2
155	TS6	457	0,19	8,59	0,05	0,74	2,66	9,1	1183	0,05	16,2	2,15	24,6	0,30	0,07	4,75	35,4

Tab. 5 - Concentrazioni dei metalli nei licheni (ppm), medie locali, e loro deviazione standard, valori di background nazionali e relativi rapporti (v. testo).
Concentrations of metals in lichens (ppm); local minimum and maximum, average, standard deviation, national background and relative ratios (see text).

	Al	As	Ba	Be	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	Te	V	Zn
Minimo	148	0,04	0,83	0,02	0,02	0,79	2,20	161	0,01	12,10	0,09	0,87	0,04	0,05	0,08	12,00
Massimo	6000	0,84	54,84	0,19	2,26	60,45	95,3	4276	0,28	90,60	34,37	85,62	1,43	1,03	12,55	115,1
Media	608,6	0,21	5,38	0,06	0,46	4,46	10,48	503	0,09	26,2	2,16	9,76	0,19	0,21	1,27	35,76
Dev.St.	580,70	0,17	6,00	0,03	0,37	6,30	8,77	434,45	0,04	13,76	3,14	9,75	0,23	0,20	1,43	15,59
Background	247,83	0,25	1,4	0,04	0,08	0,76	4,03	231,60	0,06	12,55	0,54	2,42	0,04	0,05	0,82	13,65
Max / Min.	40,54	21	66,07	9,50	113	76,52	43,32	26,56	28,00	7,49	381,89	98,41	35,75	20,6	156,9	9,59
Min / backgr.	0,60	0,16	0,59	0,50	0,25	1,04	0,55	0,70	0,17	0,96	0,17	0,36	1	1	0,10	0,88
Max / backgr.	24,21	3,40	39,17	4,75	28,25	79,54	23,65	18,46	4,67	7,22	63,65	35,38	35,75	20,60	15,30	8,43

Tab. 6 - Valori minimi (ppm) riscontrati nei talli di *Xanthoria parietina* in Italia.
Minimum values (ppm) found in the thalli of Xanthoria parietina *in Italy.*

METALLI	FVG	Veneto	Macerata	Alto Vic.	Montalto	Treviso
Al	148	85	96	161	710	287
As	0,04	0,1			0,6	
Ba	0,83	1,96				
Be	0,02				0,05	
Cd	0,02	0,11	0,132	0,095	0,05	0,094
Cr	0,79	0,42	1,18	0,29	1,62	0,23
Cu	2,2	2,83	7,2	5,3	3,72	2,9
Fe	161	136	296	390		175
Hg	0,01	0,05	0,08	0,1	0,07	0,02
Mn	12,1	12	13,8	6,3	21,39	9,7
Ni	0,09	0,28	0,43	0,1	1,56	0,78
Pb	0,87	0,8	0,3	6,7	2,67	3,2
Se	0,04					
Te	0,05					
V	0,08	0,12			2,25	
Zn	12	14	17,6	5,1	19,28	13,9

Tab. 7 -Valori massimi (ppm) riscontrati nei talli di *Xanthoria parietina* in Italia, e loro media.
Maximum values (ppm) found in the thalli of Xanthoria parietina *in Italy, and their average.*

Al	6000	1576	8390	650	6400	2714	4288,33
As	0,84	3,73			5,02		3,20
Ba	54,84	70					62,42
Be	0,19				0,77		0,48
Cd	2,26	1,15	0,4	0,98	0,55	0,794	1,02
Cr	60,45	10,2	4,24	8,4	9,06	8,53	16,81
Cu	95,3	159	18,7	33,4	148,2	40	82,43
Fe	4276	1840	1388	1960		2272	2347,20
Hg	0,28	0,43	0,32	0,31	1,04	0,33	0,45
Mn	90,6	54	50,2	77,6	136,2	61,8	78,40
Ni	34,37	6,2	1,61	2,22	6,46	8,7	9,93
Pb	85,62	14,4	17,6	67	12,61	95	48,71
Se	1,43						2,57
Te	1,03						1,03
V	12,55	5,82			15,02		11,13
Zn	115,1	164	52,6	779	145,3	52,6	218,10

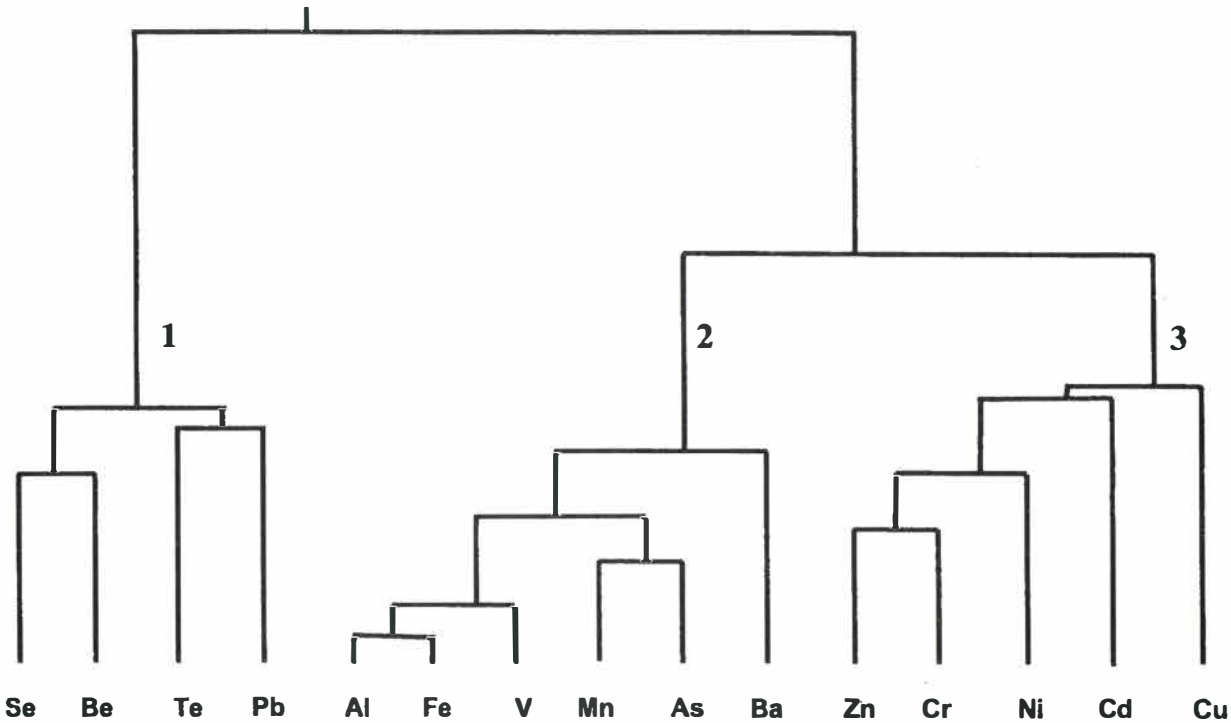

Fig. 5 - Dendrogramma dei metalli basato sui dati di Tabb. 2 -4.
Dendrogram of the metals, based on the data in Tabs. 2-4.

0,65), Manganese e Arsenico (R = 0,64) e Arsenico e Bario (R = 0,40). Ciò suggerisce che questi elementi, con massimi nelle stesse stazioni, hanno origini comuni.

Il pattern dei metalli del cluster 3 (Fig. 6c) è simile al precedente (Fig. 6b); i massimi, tuttavia, si raggiungono più a nord, nelle Provincie di Pordenone e di Udine, con massimi secondari a nord della Laguna di Marano (Fig. 6c). Questo cluster è più eterogeneo del precedente: i due metalli più simili, Zinco e Cromo sono anch'essi positivamente correlati (R = 0,54, P < 1%, v. Fig. 7), ma con significatività minore della coppia Alluminio-Ferro (Fig. 7). Gli altri metalli hanno correlazioni non significative: R = 0,40 (Cromo-Nichel), R = 0,025 (Nichel-Cadmio), R = 0,071 (Cadmio-Cromo).

I risultati evidenziano tre sindromi principali da accumulo di metalli, corrispondenti ai tre clusters principali, ciascuna con chiari patterns geografici in tre aree geomorfologicamente ben caratterizzate: bassa pianura (cluster 1), media pianura (cluster 2) ed alta pianura (cluster 3). Media ed alta pianura mostrano sindromi piuttosto simili, mentre la bassa pianura presenta massimi in diverse stazioni per diversi metalli (del cluster 1, ed in parte del cluster 2).

Cartografia

Per ciascun metallo sono stati elaborati due tipi di carte:

a) carte suddivise in nove fasce, ottenute dividendo in parti eguali l'intervallo tra il minimo e massimo locali; esse mostrano eventuali patterns geografici, ed indicano eventuali «hot spots»;

b) carte suddivise in sette fasce, corrispondenti ai livelli di naturalità/alterazione riportati in Tab.1; esse permettono di valutare i livelli di alterazione espressi dalle concentrazioni dei metalli nei licheni.

La discussione raggruppa i metalli in ordine alfabetico entro i tre clusters del dendrogramma (Fig. 5). Il Mercurio, non compreso nella classificazione, è attribuito al cluster 1, data la somiglianza della sua carta di distribuzione con quelle dei metalli di questo cluster.

Cluster 1

Berillio - È uno dei metalli più leggeri, e la sua concentrazione nella crosta terrestre è mediamente di 3 ppm (Krauskopf 1979). Viene utilizzato sotto forma di silicati nella produzione di leghe con Cu, Zn e Ni, come moderatore neutro nei reattori

nucleari, nei freni dei velivoli, nei sistemi di guida inerziale di missili ed aeroplani e nei componenti strutturali di veicoli spaziali. La principale fonte di emissione in atmosfera sembra essere la combustione del carbone. Studi sugli effetti del Berillio sulle piante sono piuttosto rari: in alcuni casi basse concentrazioni possono persino indurre effetti benefici sulla crescita. Il Berillio ed i suoi sali sono tossici per l'uomo, con effetti sia acuti che cronici. A livello cronico, il Berillio può indurre alterazioni patologiche nel sistema immunitario, come disturbi nell'afflusso dei linfociti nei tessuti danneggiati, o una malattia nota come *Berilliosi,* dovuta all'inalazione di composti tossici del Berillio, che conduce a complicazioni cardiache. Esposizioni acute possono provocare infiammazioni del polmone. Il Berillio può anche provocare dermatiti ed ulcerazioni della pelle (Lee 1972). Il valore di backgroud italiano in *Xanthoria parietina* è di 0,04 ppm, identico al valore corrispondente al 20° percentile delle 203 misure in diverse specie di licheni foliosi in Italia (Tab. 1). Nell'area di studio il valore medio è di 0,06 ppm, quello minimo di 0,02 ppm e quello massimo di 0,19 ppm (Tab. 5). Le stazioni con i valori più alti sono (Tabb. 8-10) Go2, Pn102, Pn101 e Go70. La carta di Fig. 8a mostra patterns geografici con massimi nella fascia centrale dell'area di studio (tra la Provincia di Pordenone e quella di Udine) e nella parte nord-orientale della Provincia di Gorizia. L'area con alterazioni maggiori si limita ad una piccola porzione della Provincia di Pordenone, e le condizioni ambientali appaiono generalmente buone (Fig. 8b).

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 «Geological Survey Professional Paper n. 713» indica i seguenti livelli nell'ambiente: roccia 0,01 ppm, terreno 0,1 ppm, aria 0,00001 ppm e acque fluviali 0,0001 ppm. Il Mercurio ha una spiccata tendenza a passare nell'atmosfera, ritornando in breve tempo sulla superficie terrestre con le piogge. Il solo minerale per l'utilizzo industriale è il cinabro: l'estrazione mediante arrostimento 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 funghicidi; 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.

Il valore di background in *Xanthoria* in Italia è di 0,06 ppm, praticamente identico a quello corrispondente al 20° percentile delle 485 misure sinora effettuate in Italia in licheni foliosi epifiti, che è pari a 0,07 ppm (Tab. 1). Nell'area di studio il valore medio è di 0,09 ppm, quello minimo di 0,01 ppm quello massimo di 0,28 ppm (Tab. 5). Le stazioni con le concentrazioni più elevate sono Ud6, Ud304, Ud305, Ud307, Ud33, Go209, Ud54, Ud60, Ud309, Pn1 e Go12 (Tabb. 8-10).

La Fig. 9a mostra patterns geografici più consistenti nella fascia meridionale della Provincia di Udine, lungo il corso dei fiumi Aussa e Corno, e nel Gradese. Ciò indica un'estensione della contaminazione proveniente dalla terraferma al sistema lagunare. I massimi rientrano nella media italiana, ma l'elevato rapporto tra massimo e minimo locale suggerisce contaminazioni non trascurabili, specialmente nell'area dell'Aussa-Corno (Fig. 9b). La stazione Ud6 ha le più alte concentrazioni dell'area di studio. La carta di Fig. 9b non indica alti livelli di alterazione ambientale (v. Tab. 1). Va però sottolineato che la tossicità del Mercurio si manifesta per accumulo, e che esposizioni a basse concentrazioni nel lungo periodo possono essere dannose per la salute pubblica.

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 $\mu g/m^3$, in aree non urbane la concentrazione scende a 0,0002 $\mu g/m^3$ (Floccia *et al.* 1985). Fonte principale è la combustione degli

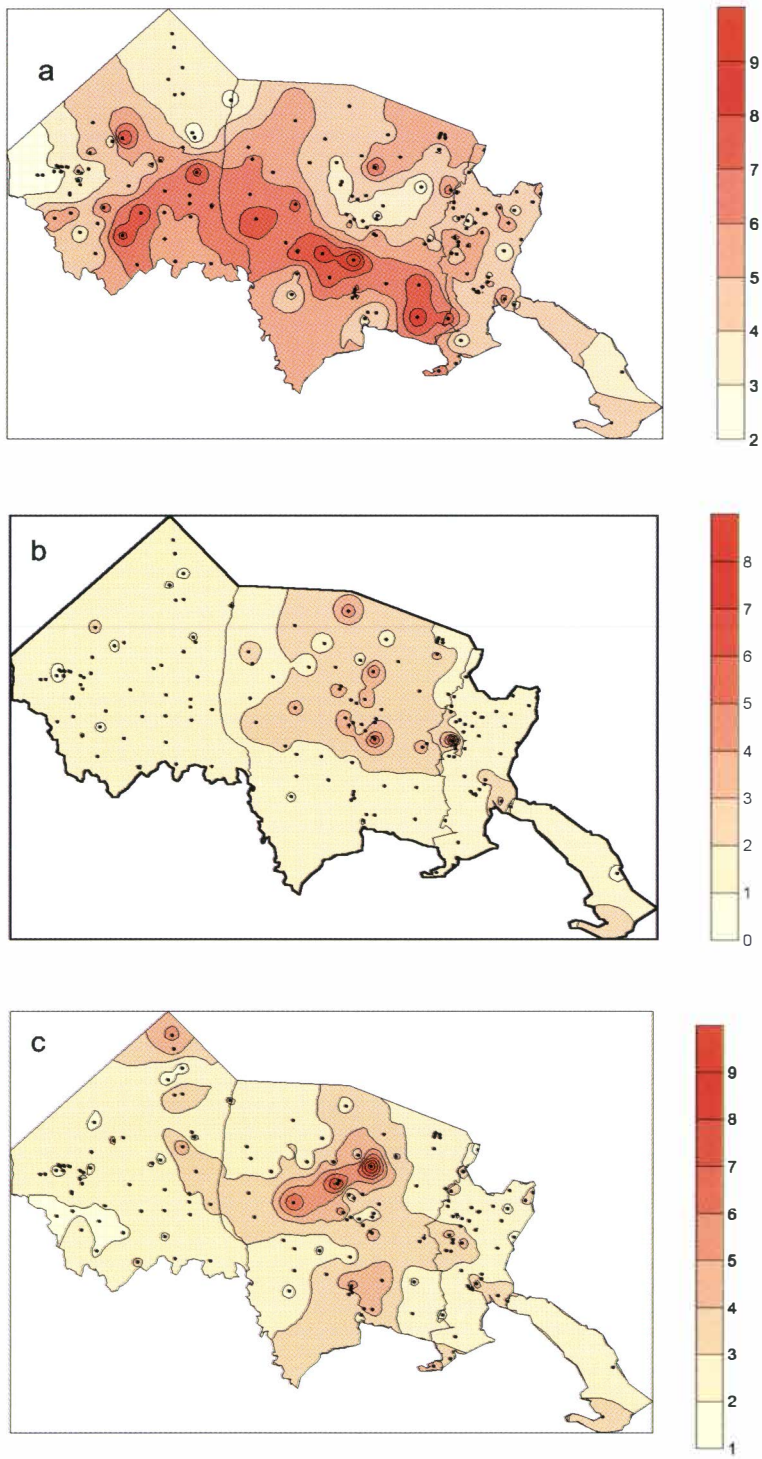

Fig. 6 a,b,c - Carte delle deposizioni complessive dei metalli nei clusters 1, 2 e 3. I valori sono stati normalizzati e riportati in una scala da 0 a 10.

Maps of the total contamination by metals in the clusters 1, 2 e 3. Values are normalized and reported in a scale from 0 to 10.

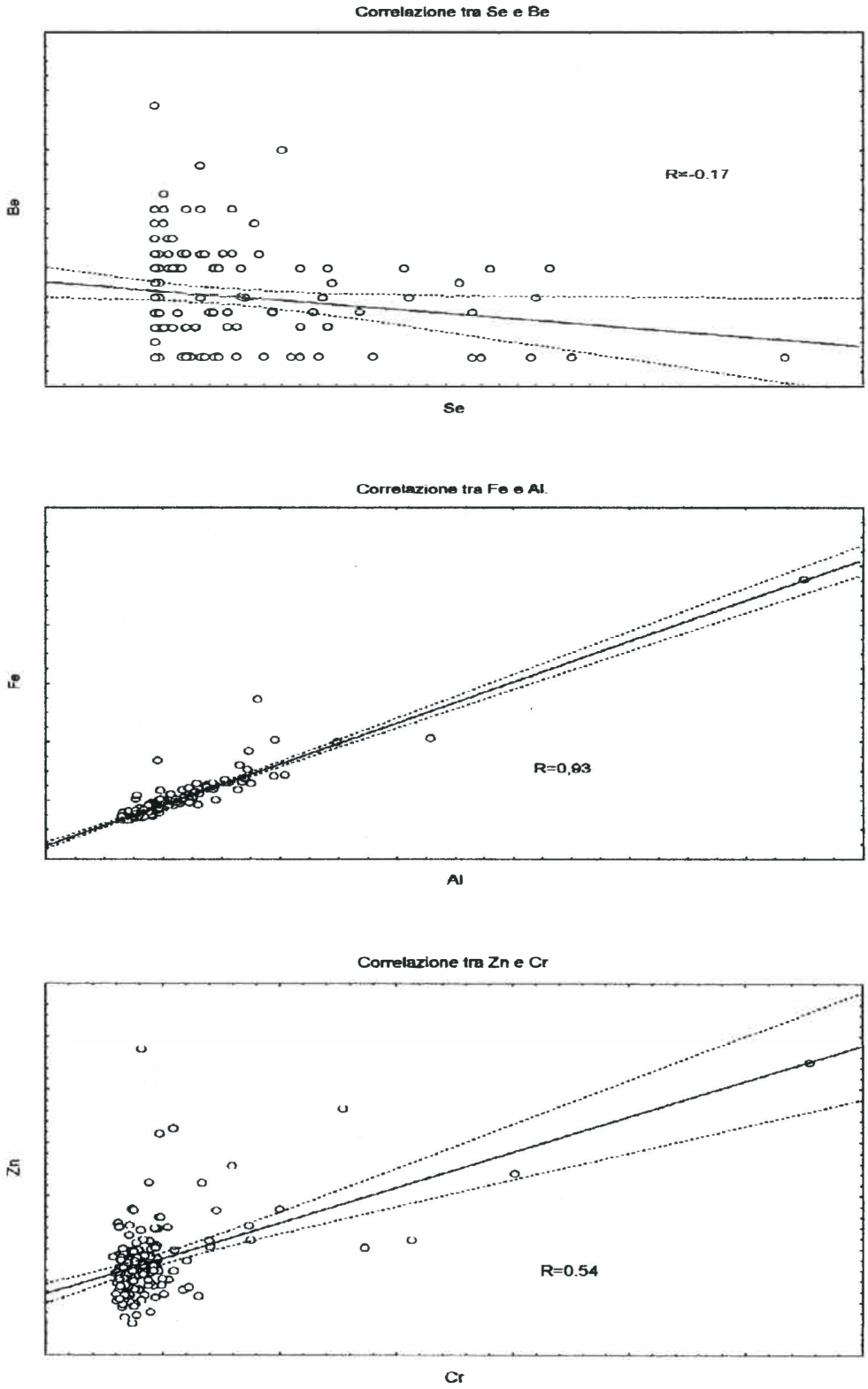

Fig. 7 - Correlazioni tra le concentrazioni di Be e Se, Fe e Al, Zn e Cr nei talli lichenici. Solo la prima correlazione non è significativa.

Correlations between Be and Se, Fe and Al, Zn and Cr in the lichen thalli. Only the first correlation is not significant.

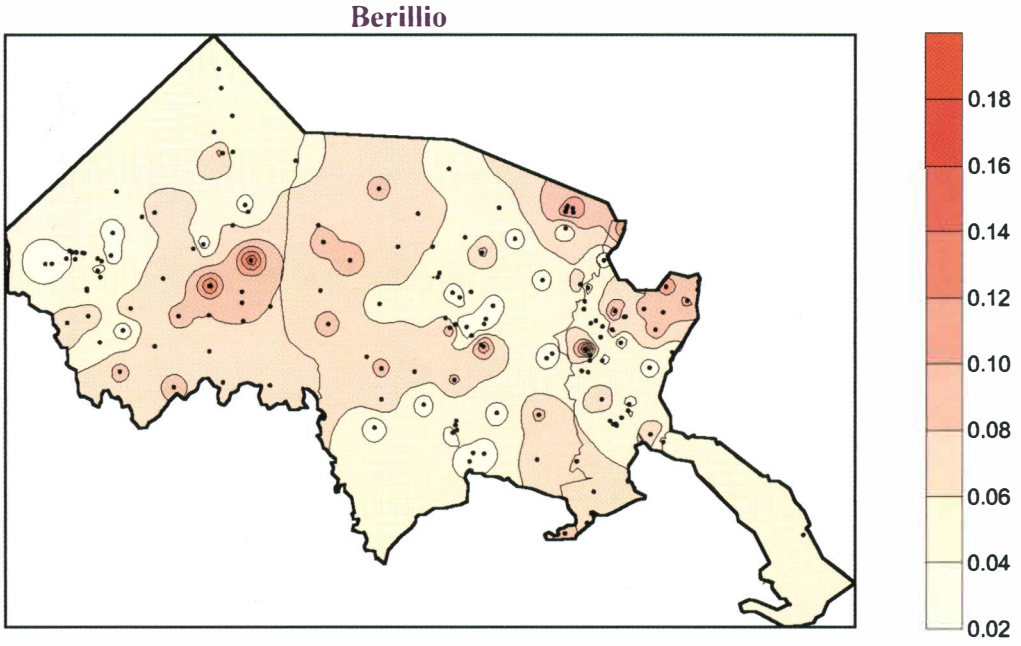

Fig. 8a - Carta delle concentrazioni di Be nei talli lichenici (ppm).
Map of the concentrations of Be in lichen thalli (ppm).

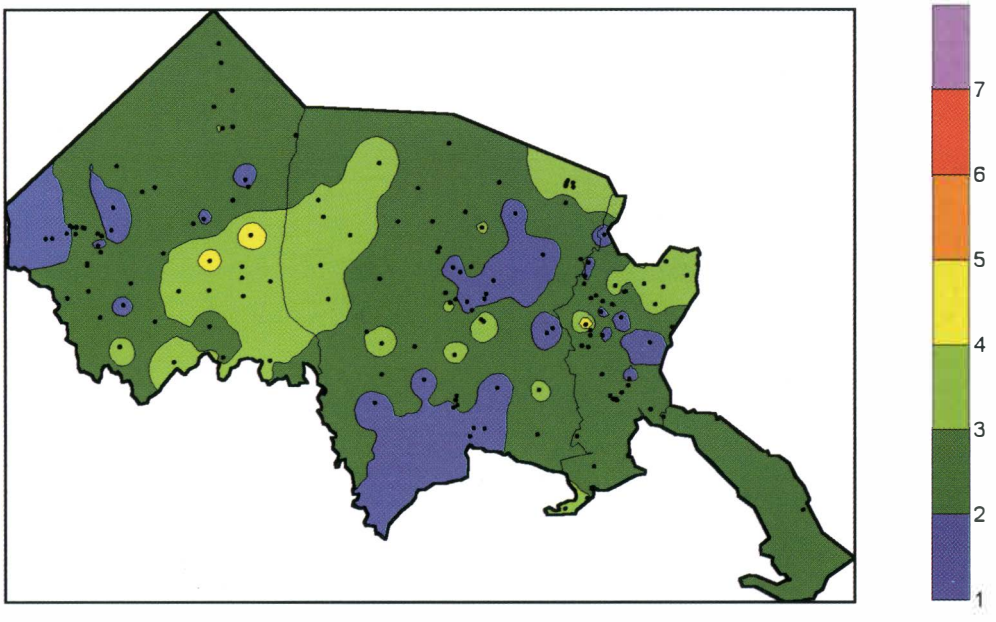

Fig. 8b - Carta dei livelli di naturalità/alterazione di Be (v. Tab. 1).
Map of the levels of naturality/alteration of Be (see Tab.1).

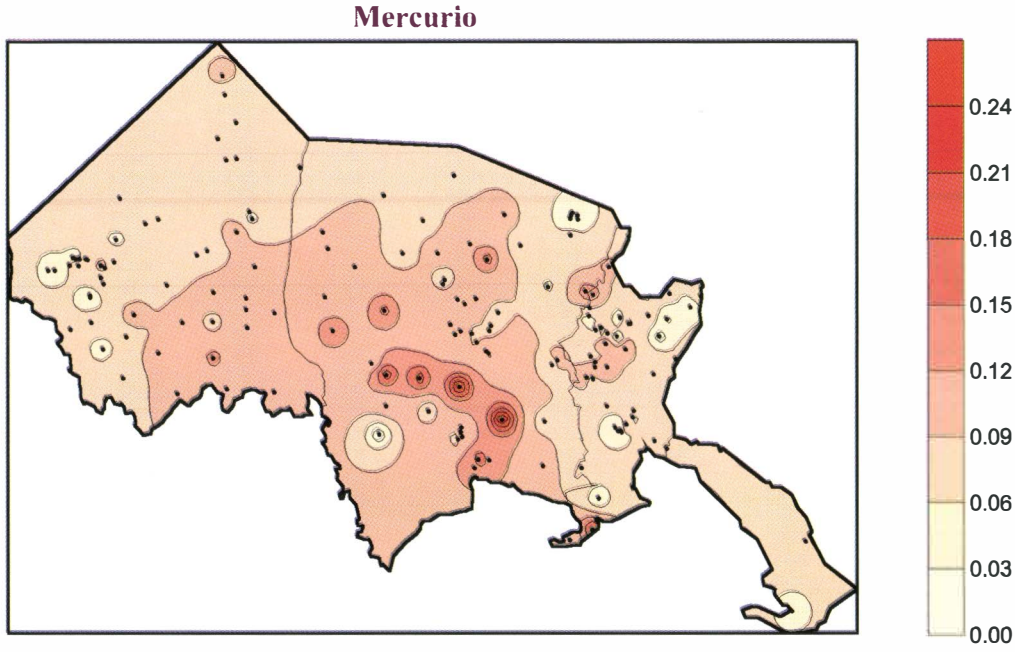

Fig. 9a - Carta delle concentrazioni di Hg nei talli lichenici (ppm).
Map of the concentrations of Hg in lichen thalli (ppm).

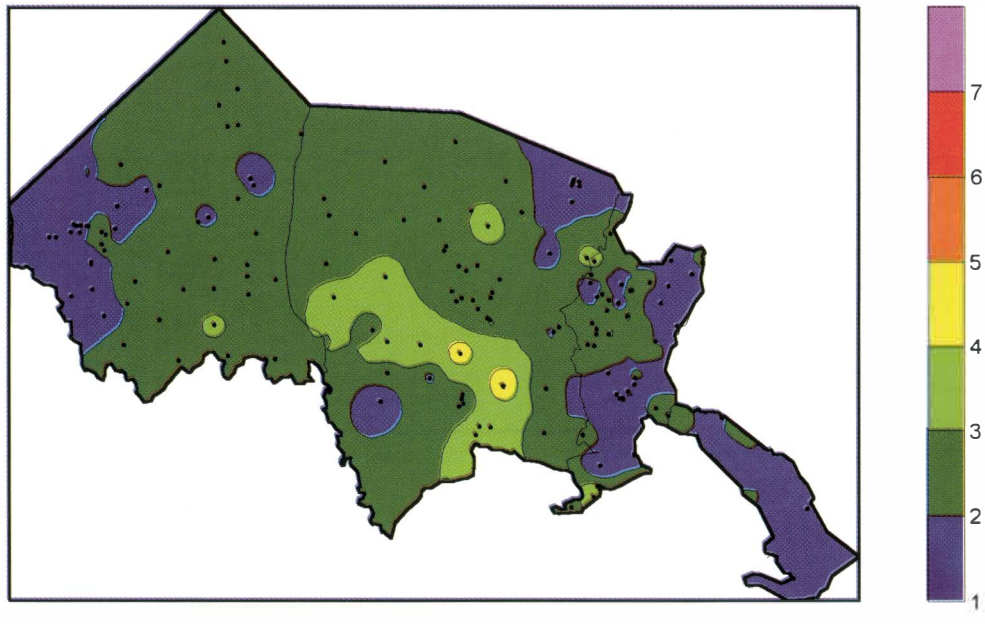

Fig. 9b - Carta dei livelli di naturalità/alterazione di Hg (v. Tab. 1).
Map of the levels of naturality/alteration of Hg (see Tab. 1).

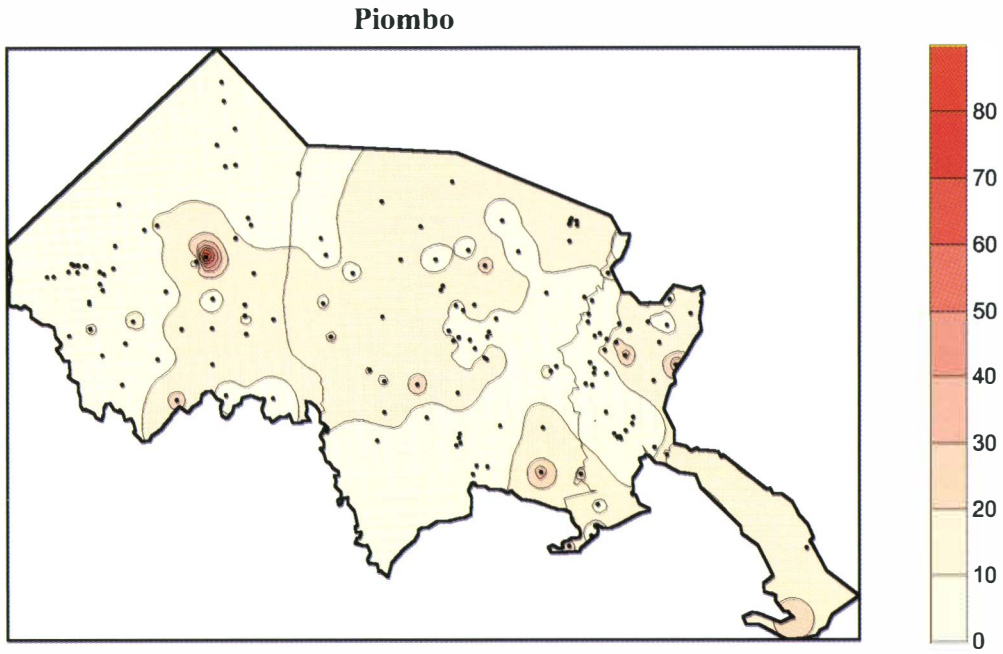

Fig. 10a - Carta delle concentrazioni di Pb nei talli lichenici (ppm).
Map of the concentrations of Pb in lichen thalli (ppm).

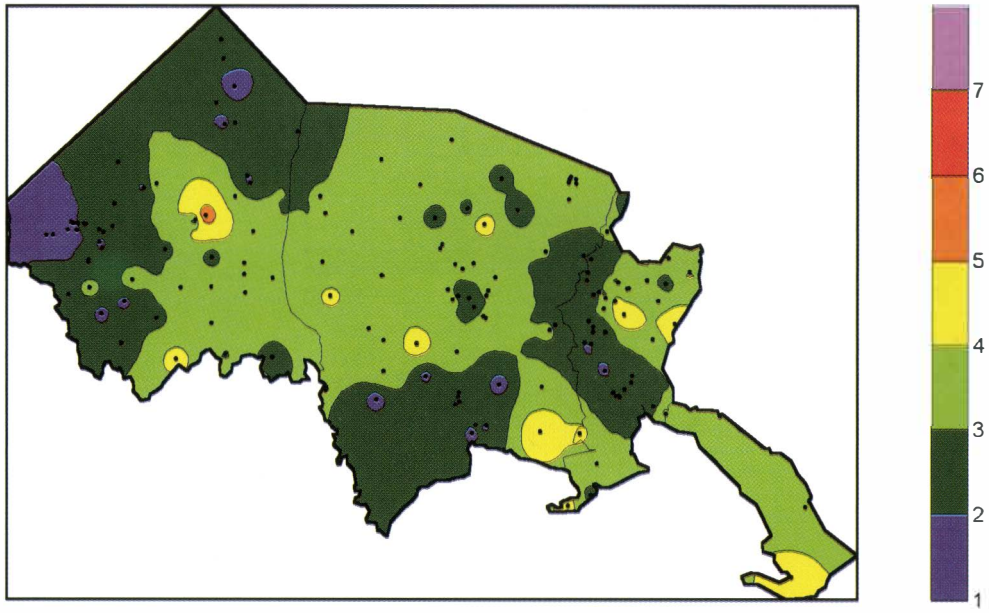

Fig. 10b - Carta dei livelli di naturalità/alterazione di Pb (v. Tab. 1).
Map of the levels of naturality/alteration of Pb (see Tab.1).

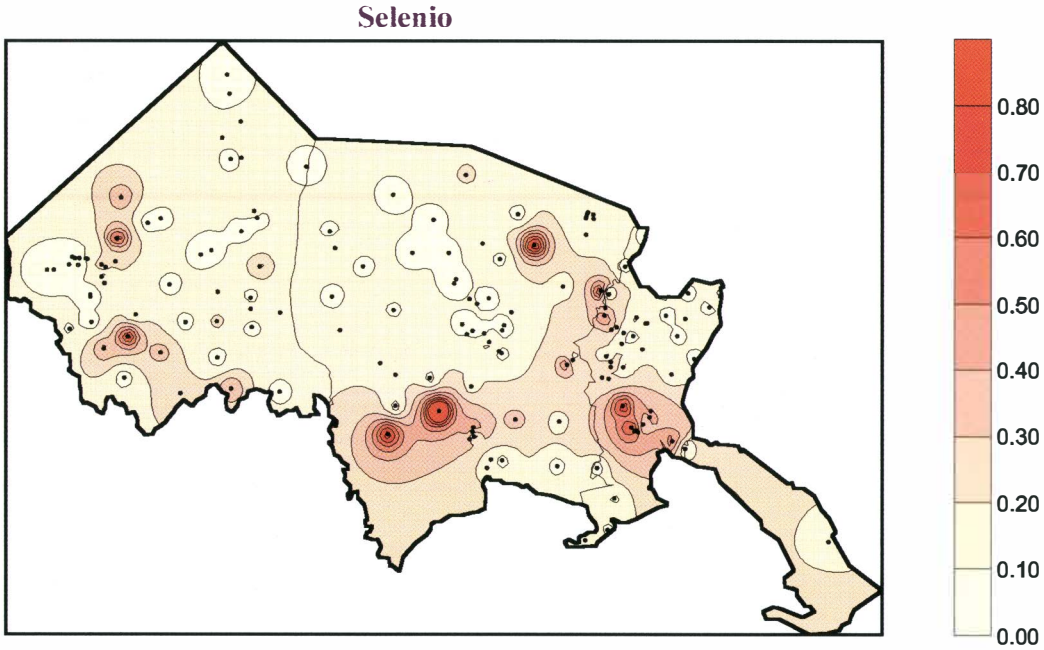

Fig. 11a - Carta delle concentrazioni di Se nei talli lichenici (ppm).
Map of the concentrations of Se in lichen thalli (ppm).

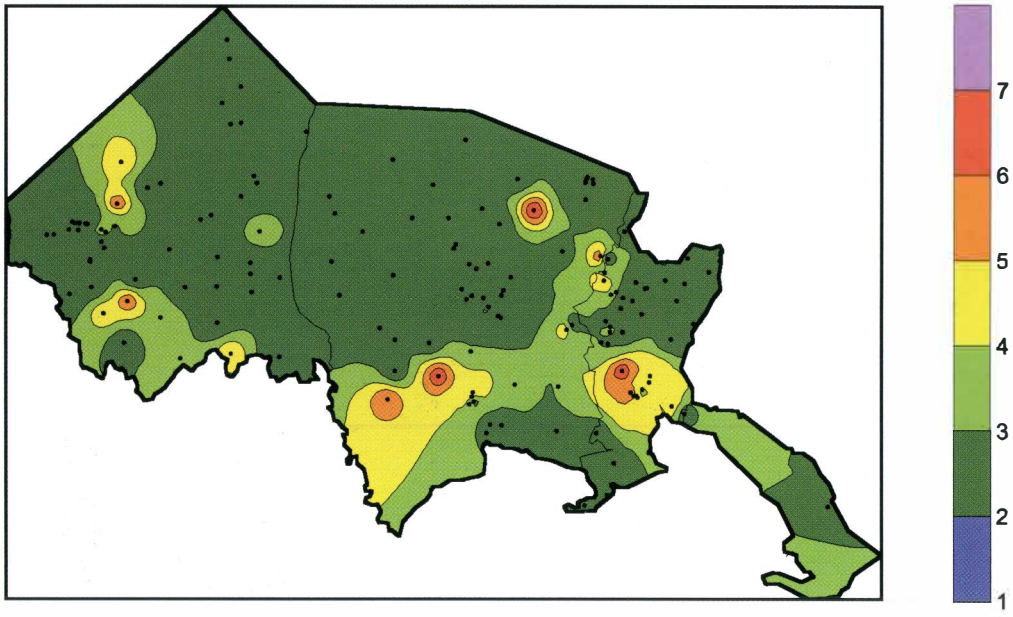

Fig. 11b - Carta dei livelli di naturalità/alterazione di Se (v. Tab. 1).
Map of the levels of naturality/alteration of Se (see Tab. 1).

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).

Il valore di background riscontrato in *Xanthoria* in Italia è di 2,42 ppm, vicino al valore corrispondente al 20° percentile delle 679 misure relative a diversi licheni foliosi sinora analizzati in Italia, che è di 3 ppm (Tab. 1). Nell'area di studio il valore medio è di 9,76 ppm, quello minimo di 0,87 ppm, ben al di sotto del background, e quello massimo di 85,62 ppm. Le stazioni con le concentrazioni maggiori sono Pn51, Go31, Go9, Ud302, Ud305, Go64 e Ud54 (Tabb. 8-10). Salvo la prima, sita in una discarica, le altre hanno valori piuttosto bassi rispetto ad altre parti d'Italia: l'influsso delle emissioni veicolari nell'area di studio non appare significativo. Molte stazioni con valori massimi di altri metalli hanno valori bassi per il Piombo. La Fig. 10a mostra una situazione omogenea, senza patterns geografici importanti, e con fenomeni limitati e puntiformi. Nel complesso la situazione appare buona (Fig.10b). Tuttavia va considerato che le maggiori emissioni di Piombo derivano dal traffico veicolare, che in questo studio la strategia di campionamento mirava a ridurre al minimo l'apporto di inquinanti provenienti dal traffico, e che la deposizione del Piombo emesso dagli autoveicoli si esaurisce a pochi metri dal margine stradale.

Selenio - Presente nella crosta terrestre in concentrazioni di ca. 0,05-0,09 ppm, è usato nell'industria per la produzione di leghe con ferro e rame, di componenti elettronici come fotocellule, di vetro, plastica e ceramiche, per accrescere la resistenza al calore, per l'ossidazione della gomma, come lubrificante, e come agente terapeutico nella sintesi di prodotti tricodermatologici. Il Selenio, non necessario per le piante, viene però assorbito sia dalle radici che dalle foglie, e può avere un'azione fitotossica, influenzata da fattori come: specie di pianta (alcune piante lo accumulano senza subire danni), forma chimica (solitamente le piante lo assumono come selenato, selenito o composti organici), presenza di ioni competitivi come solfati e fosfati. La tossicità per gli animali è inferiore, ma alte concentrazioni possono causare malattie (malattia da alcali, *blind staggers*), mentre concentrazioni al di sotto della soglia fisiologica possono causare la «malattia del muscolo bianco». L'intervallo di tolleranza tra il livello di normalità e quello di tossicità è ristretto: il valore minimo è di 0,03-0,10 ppm, in relazione alla quantità di vitamina E e di altre sostanze assunte nella dieta, mentre il massimo è di circa 3-4 ppm, al di sopra del quale la concentrazione viene considerata tossica (Underwood 1977).

Il valore di background in *Xanthoria parietina,* a causa della scarsità di dati relativi ad altre parti d'Italia, è stato calcolato come media dei tre valori minimi riscontrati nell'area di studio: esso è pari a 0,04 ppm, identico al valore corrispondente al 20° percentile delle 199 misure relative a diversi licheni foliosi epifiti in Italia (Tab. 1). Nell'area di studio il valore medio è di 0,19 ppm, il minimo di 0,04 ppm ed il massimo di 1,43 ppm (Tab. 5). Le stazioni con i valori più elevati sono Ud13, Ud3, Go27, Go21, Go22, Ud5, Ud29, Pn50,Ud30 e Pn49 (Tabb. 8-10).

La carta di Fig. 11a evidenzia, salvo alcune stazioni isolate, concentrazioni minori nella parte settentrionale, maggiori in quella meridionale dell'area di studio. Nelle parti sudoccidentale e nordorientale della Provincia di Udine ed in quella centro-meridionale della Provincia di Gorizia si hanno chiari fenomeni diffusionali meritevoli di controllo. Le stazioni con concentrazioni maggiori ricadono nelle fasce di alterazione ambientale da alta a molto alta (Fig. 11b).

Tellurio - Presente nella crosta terrestre tra 100 e 500 ppm, il suo comportamento geochimico è simile a quello del Selenio, ed in parte a quello del Bario e del Mercurio (Adriano 1986). Il riscaldamento provoca l'ossidazione del Tellurio, che assume una forma chimica volatile facilmente

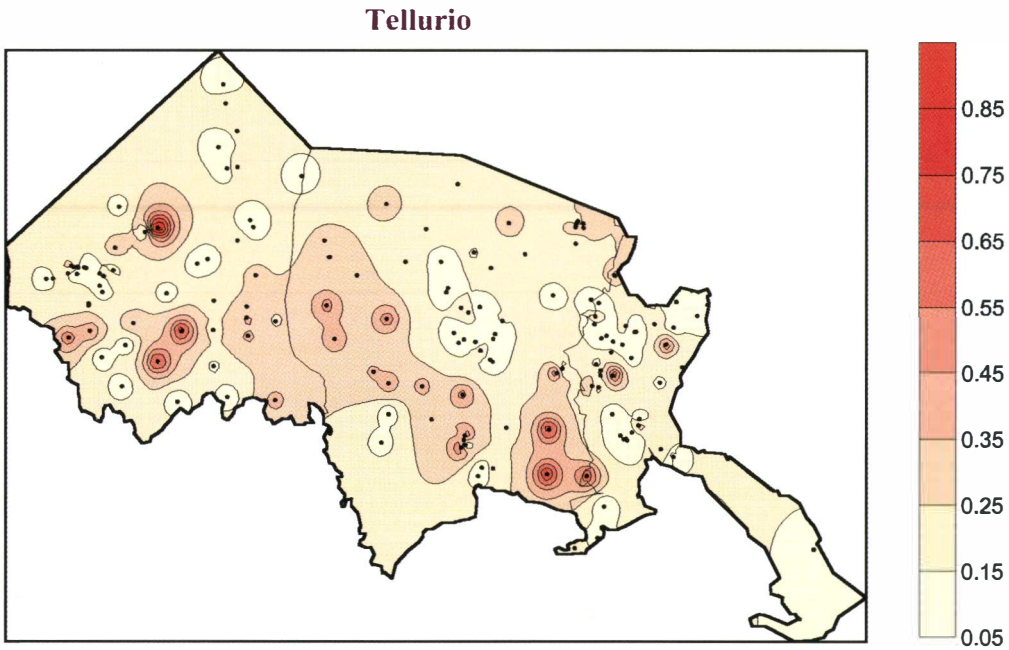

Fig. 12a - Carta delle concentrazioni di Te nei talli lichenici (ppm).
Map of the concentrations of Te in lichen thalli (ppm).

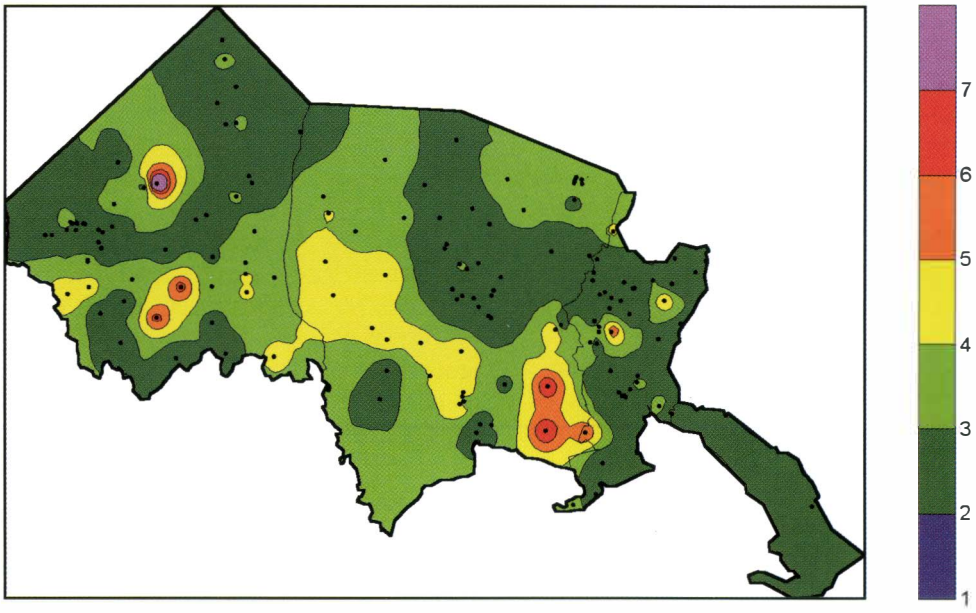

Fig. 12b - Carta dei livelli di naturalità/alterazione di Te (v. Tab. 1).
Map of the levels of naturality/alteration of Te (see Tab.1).

assorbibile dagli ossidi di Ferro. Il Tellurio è un sottoprodotto della combustione del carbone.

Per la scarsezza di dati in *Xanthoria*, il valore di background è stato calcolato come media dei tre valori minimi locali, ed è pari a 0,05 ppm, in accordo con quello corrispondente al 20° percentile delle 178 misure relative a licheni foliosi in Italia (Tab. 1). Nell'area di studio il valore medio è di 0,21 ppm, quello minimo di 0,05 ppm e quello massimo di 1,03 ppm (Tab. 5). Le stazioni con i valori più elevati sono Pn114, Go10, Ud302, Ud301, Ud303, Pn104 e Pn113 (Tabb. 8-10).

La Fig. 12a mostra, nell'ambito di una situazione piuttosto omogenea, alcuni patterns geografici nella fascia meridionale della Provincia di Udine. Le Provincie di Pordenone e di Gorizia hanno concentrazioni elevate puntiformi, o con patterns ristretti; l'area più interessata è quella sita a nord di Grado. La situazione generale è discretamente buona, come mostrato dalla carta della naturalità/alterazione: quasi tutto il territorio si trova in condizioni di naturalità (Fig. 12b).

Cluster 2

Alluminio - È 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.

Il valore di background in *Xanthoria* è di 247,83 ppm, simile a quello calcolato sulla base del 20^0 percentile delle 606 misure sinora effettuate in licheni foliosi in Italia (350 ppm, Tab. 1). Il valore medio locale è di 608,63 ppm, quello minimo di 148 ppm, decisamente più basso del background; quello massimo, di 6.000 ppm, è molto alto rispetto ai massimi italiani (Tab. 7). Le stazioni con le concentrazioni più elevate sono Go2, Ud10, Ud8 e Ud9 (Tabb. 8-10).

La Fig. 13a evidenzia chiari patterns geografici nella fascia centrale della Provincia di Udine, con un'estensione nella porzione centro-occidentale di quella di Gorizia. Nelle Provincie di Pordenone e di Trieste i valori sono compresi tra quelli medi per l'Italia. La stazione Go2 ha un valore molto maggiore del background, ed oltre 40 volte maggiore del minimo locale, il che suggerisce una contaminazione da Alluminio piuttosto consistente. I fenomeni di alterazione elevata si limitano a poche stazioni (Fig. 13b) con probabili apporti terrigeni: a nord della linea delle risorgive si hanno infatti estesi affioramenti di terreni ferrettizzati, con alti tenori di idrossidi di Ferro e di Alluminio.

Arsenico - Presente nella crosta terrestre in misura di 1,5-2 ppm, si trova comunemente in forma ossidata nell'atmosfera come triossido di Arsenico (As_2O_3, Arsenico Bianco). Viene usato per la produzione di insetticidi, erbicidi, fungicidi, alghicidi, defolianti, conservanti del legno, vernici, ceramiche e vetri, e la sua forma elementare è usata per produrre leghe con Piombo e Rame. Nei pesticidi è presente come arsenato di Piombo, Calcio, Sodio e derivati organici. Le principali fonti sono antropogene, e riguardano la produzione di Rame, Zinco e Piombo, l'utilizzo in agricoltura e la combustione di carbone. Tutti i composti dell'Arsenico sono tossici, ed in concentrazioni sufficienti causano morte o malattia in piante e animali. Inalazione ed ingestione provocano intossicazioni croniche, che si manifestano come debolezza e dolori addominali, dermatiti, perforazioni del setto nasale, ulcerazione della pelle, ed acute, che portano spesso al decesso; l'Arsenico è cancerogeno per la pelle, il polmone e il fegato (Lee 1972).

Il background in *Xanthoria* è di 0,25 ppm, simile a quello calcolato sulla base del 20° percentile delle 415 misure effettuate in diversi licheni foliosi epifiti. Nell'area di studio il valore medio è di 0,21 ppm. Il minimo, di 0,04 ppm, è notevolmente inferiore al background, ed il massimo è di 0,84 ppm. Tutti questi valori sono comunque inferiori a quelli rilevati in altre parti d'Italia. Tuttavia, gli unici dati disponibili per l'Arsenico derivano da aree relativamente antropizzate, quali Montalto di Castro (max 5,02 ppm) e la regione Veneto, con massimi nell'area circumlagunare (3,73 ppm), per cui un'analisi comparativa contro i valori massimi rischia di sottostimare l'alterazione ambientale in Friuli-Venezia Giulia. L'elevato rapporto massimo/minimo indica fenomeni di alterazione di una discreta consistenza. Le concentrazioni più alte riguardano le seguenti stazioni Ud10, Go2, Ud26 e F3 (Tabb. 8-10).

La Fig. 14a mostra chiari patterns geografici nella parte centro-settentrionale dell'area di studio, in Provincia di Udine, e, in misura meno evidente, in quella meridionale della Provincia di Gorizia. I massimi, tutti in aree di agricoltura intensiva, possono essere dovuti ad un'abuso di insetticidi, pesticidi e diserbanti, alcuni dei quali

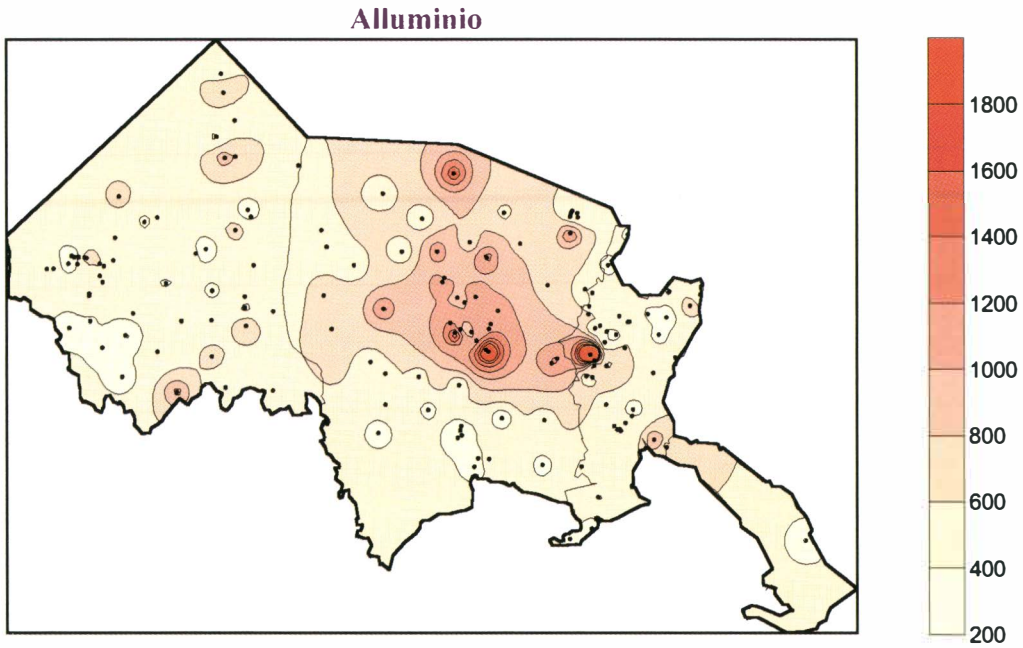

Fig. 13a - Carta delle concentrazioni di Al nei talli lichenici (ppm).
Map of the concentrations of Al in lichen thalli (ppm).

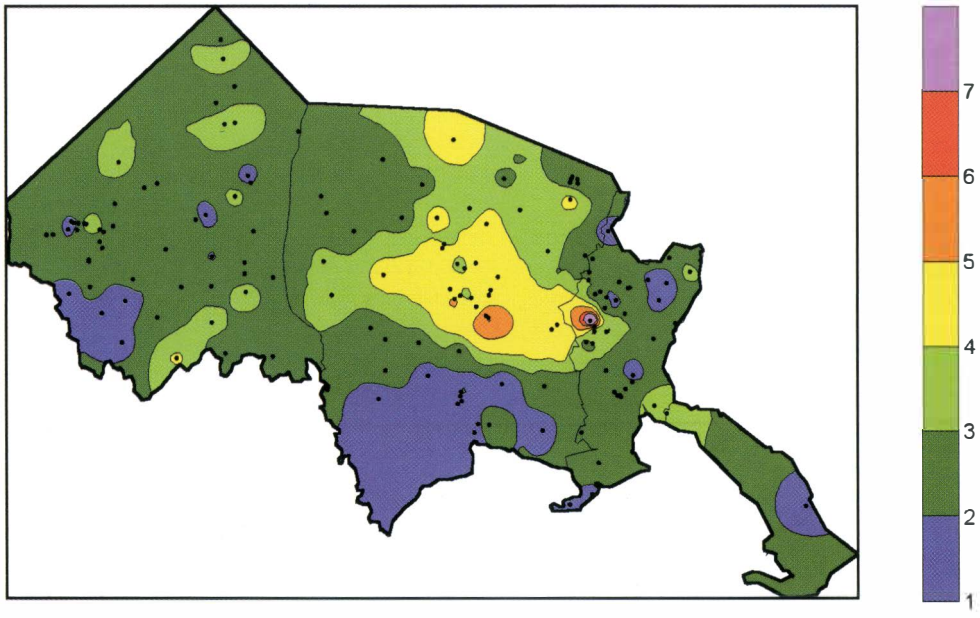

Fig. 13b - Carta dei livelli di naturalità/alterazione di Al (v. Tab. 1).
Map of the levels of naturality/alteration of Al (see Tab. 1).

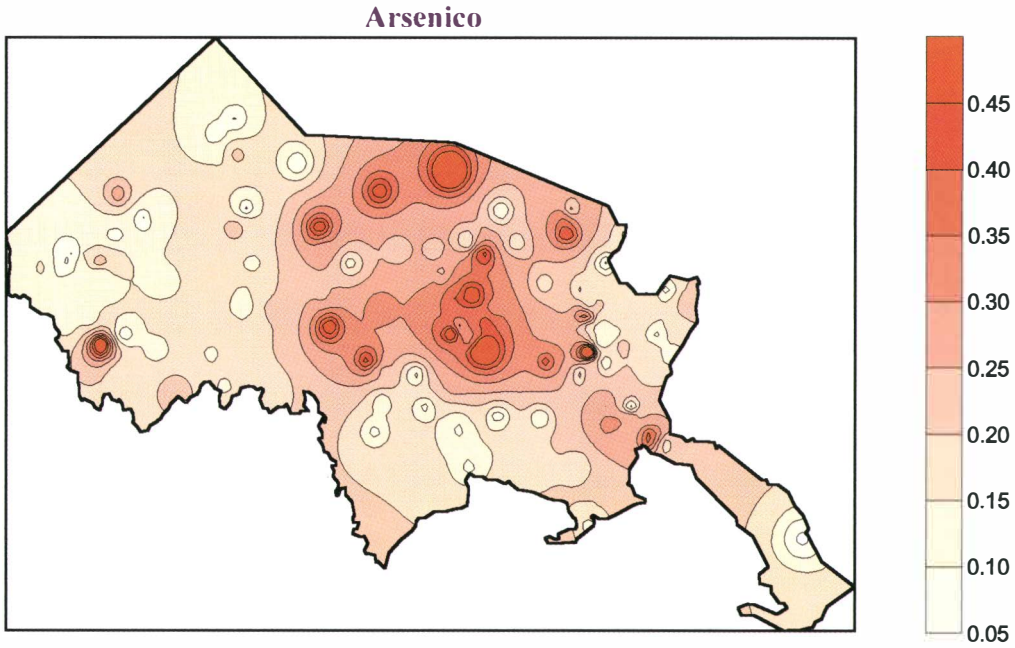

Fig. 14a - Carta delle concentrazioni di As nei talli lichenici (ppm).
Map of the concentrations of As in lichen thalli (ppm).

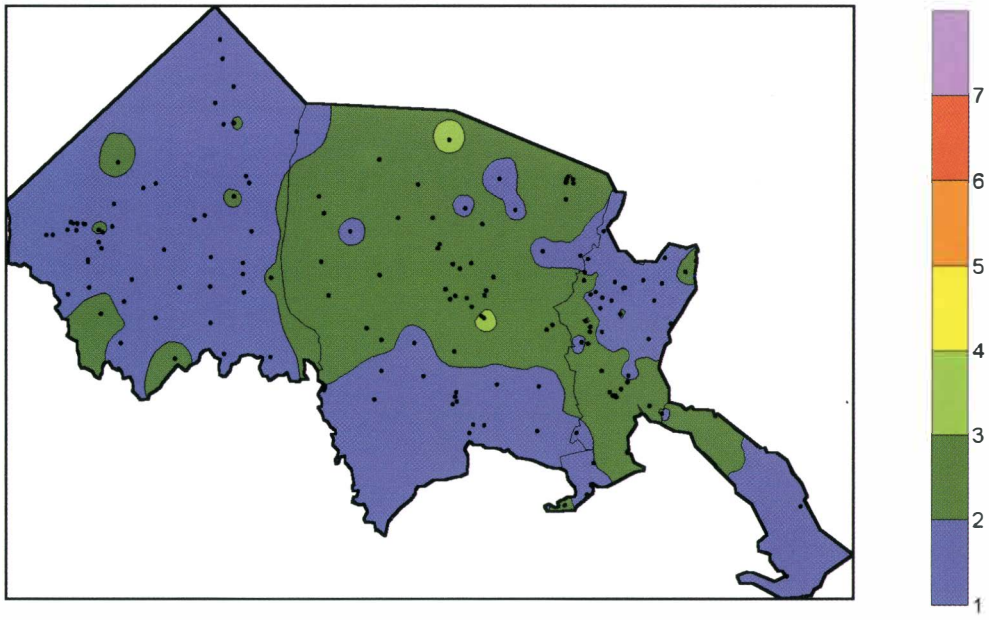

Fig. 14b - Carta dei livelli di naturalità/alterazione di As (v. Tab.1).
Map of the levels of naturality/alteration of As (see Tab.1).

contengono Arsenico come principio attivo. La carta dei livelli di naturalità/alterazione (Fig. 14b) indica situazioni più o meno naturali in tutta l'area di studio.

Bario - Il Bario, presente nella crosta terrestre nella misura di circa 500 ppm, tende ad accumularsi nei suoli e in depositi ricchi di ossido di Manganese. Soprattutto in forma di barite ($BaSO_4$), viene utilizzato nella produzione di diversi prodotti chimici, come vetro, colori e gomma. Il $BaSO_4$ è sufficientemente solubile da venir assunto dalle piante in substrati ricchi di Bario, in concentrazioni tossiche per gli animali.

Il background italiano in *Xanthoria* è di 1,40 ppm, mentre il valore corrispondente al 20° percentile delle 330 misure sinora effettuate in Italia su diversi licheni foliosi epifiti è di 3,3 ppm. Nell'area di studio il valore medio è di 5,38 ppm, il minimo di 0,83 ppm ed il massimo di 54,84 ppm (Tab. 5). Le stazioni con le concentrazioni più alte sono: Go26, Go28, Go2, Ud24 e Go15 (Tabb. 8-10).

La Fig. 15a mostra alcuni patterns geografici nelle parti centrale e meridionale della Provincia di Gorizia, e nella porzione centro-orientale della Provincia di Udine. La carta dei livelli di naturalità/alterazione (Fig. 15b) mostra una situazione generalmente buona in quasi tutta l'area di studio, eccetto Monfalcone, Ronchi dei Legionari, ed alcune stazioni poste leggermente più a nord.

Ferro - È il quarto elemento per abbondanza nella crosta terrestre e, come l'Alluminio, ha origine prevalentemente litogena. È 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 background in *Xanthoria* è di 231,60 ppm, molto simile a quello corrispondente al 20° percentile delle 627 misure sinora effettuate in licheni foliosi d'Italia, che è pari a 290 ppm (Tab. 1). Nell'area di studio il valore medio è di 502,97 ppm, il minimo di 161 ppm; il massimo, di 4276 ppm, è il più alto mai registrato in Italia. Le stazioni con le concentrazioni più alte sono Go2, Ud54, Ud10, Ud57, Ud8, Ud9 e Ud60 (Tabb. 8-10).

La Fig. 16a mostra patterns geografici simili a quelli dell'Alluminio (Fig. 13a). Le aree più interessate sono la parte centro-meridionale della Provincia di Udine e quella centro-occidentale della Provincia di Gorizia, più l'area circostante la città di Trieste. La carta dei livelli di naturalità/alterazione (Fig. 16b) è molto simile a quella dell'Alluminio (Fig. 13b), il che corrobora l'ipotesi che nell'area di studio le concentrazioni dei due metalli siano di natura prevalentemente terrigena. Anche in questo caso l'area con concentrazioni più alte si trova immediatamente a nord della linea delle risorgive, ove si hanno estesi affioramenti di terreni ferrettizzati, con alti tenori di idrossidi di Ferro e di Alluminio. I valori massimi, tuttavia, tra i più alti in Italia, alcuni raggiunti presso fonderie o depositi di rottami ferrosi, sono probabilmente dovuti a contaminazione antropogena.

Manganese - È 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. È 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 è l'unico elemento presente in minore misura nel lichene rispetto alle foglie di piante superiori (Tuominen & Jaakkola 1973), tanto che Puckett (1988) ritiene che briofite e licheni non siano dei buoni indicatori per questo elemento. Il Manganese, come Ferro ed Alluminio, viene spesso utilizzato per valutare la contaminazione terrigena dei campioni.

Il background per *Xanthoria parietina* in Italia è di 12,55 ppm, mentre quello calcolato sulla base del 20° percentile delle 629 misure effettuate su licheni foliosi epifiti è pari a 20 ppm (Tab. 1). Nell'area di studio la media è di 26,2 ppm, il minimo di 12,10 ppm, in buon accordo con il background, mentre il massimo, di 90,60 ppm, è tra i più elevati d'Italia. Le stazioni con le concentrazioni più alte sono Ud10, Ud54, Ud57, Go2, Ud26 e Ud15 (Tabb. 8-10).

La Fig. 17a evidenzia chiari patterns geografici nella parte centrale della Provincia di Udine; quella di Gorizia invece, non presenta concentrazioni così elevate, eccetto che in una singola stazione nella parte centro occidentale (Go2). Le Provincie di Pordenone e di Trieste hanno concentrazioni comprese nelle distribuzioni normali sinora riscontrate in Italia. I valori più

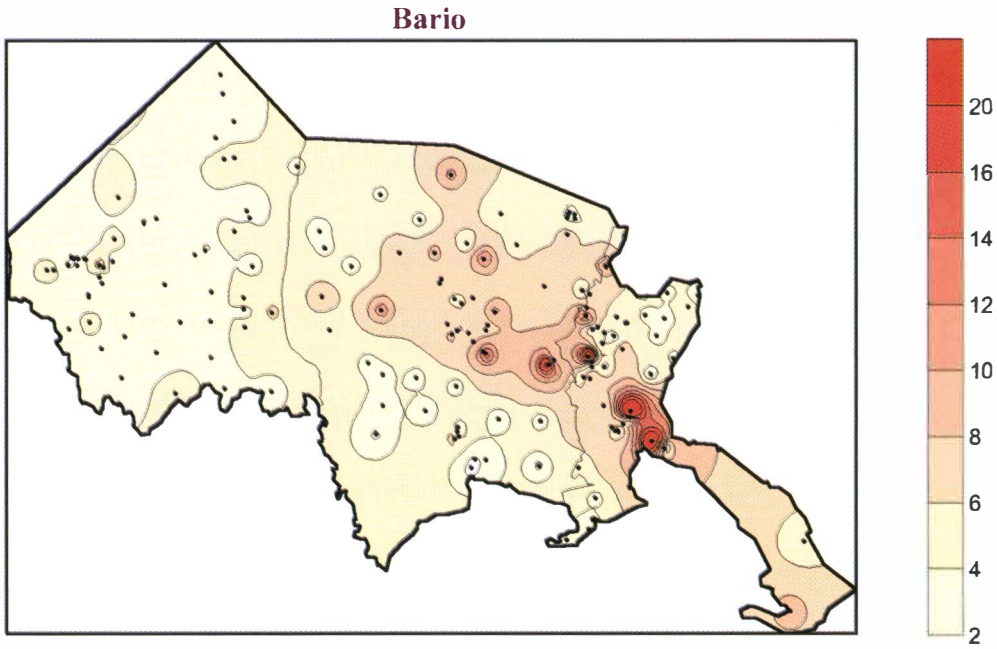

Fig. 15a - Carta delle concentrazioni di Ba nei talli lichenici (ppm).
Map of the concentrations of Ba in lichen thalli (ppm).

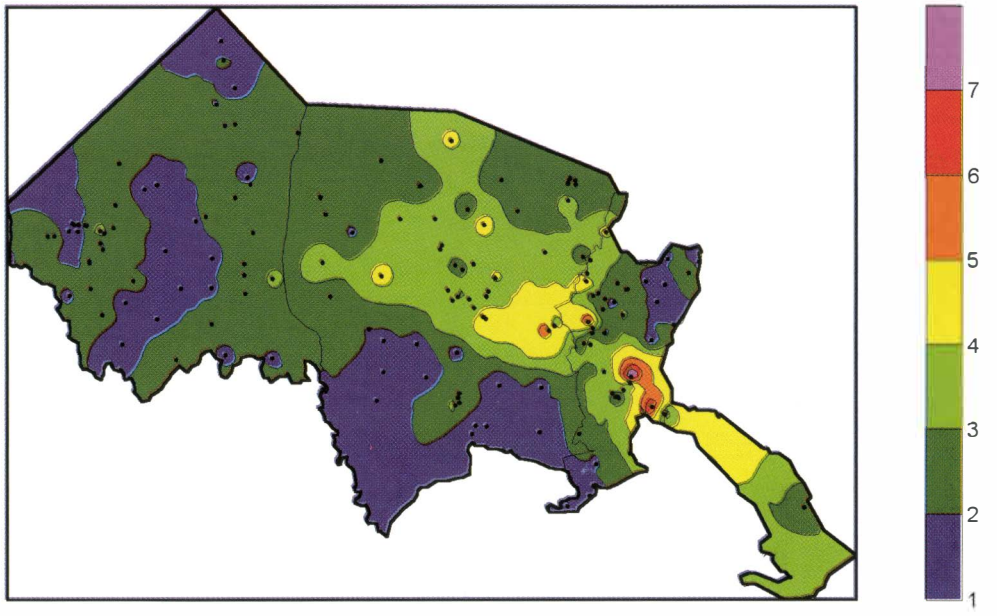

Fig. 15b - Carta dei livelli di naturalità/alterazione di Ba (v. Tab. 1).
Map of the levels of naturality/alteration of Ba (see Tab. 1).

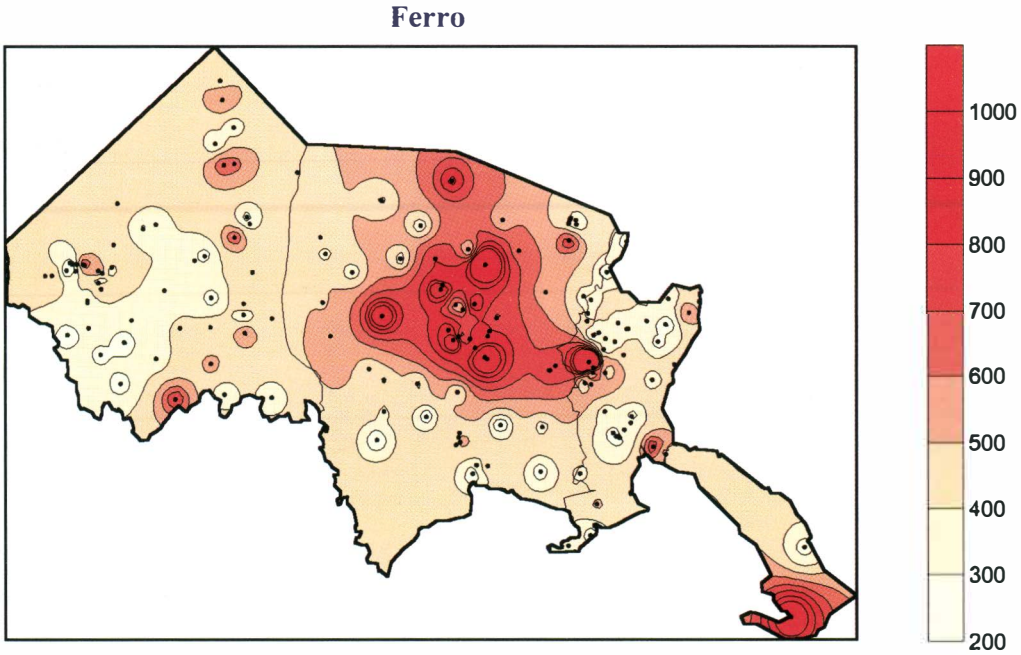

Fig. 16a - Carta delle concentrazioni di Fe nei talli lichenici (ppm).
Map of the concentrations of Fe in lichen thalli (ppm).

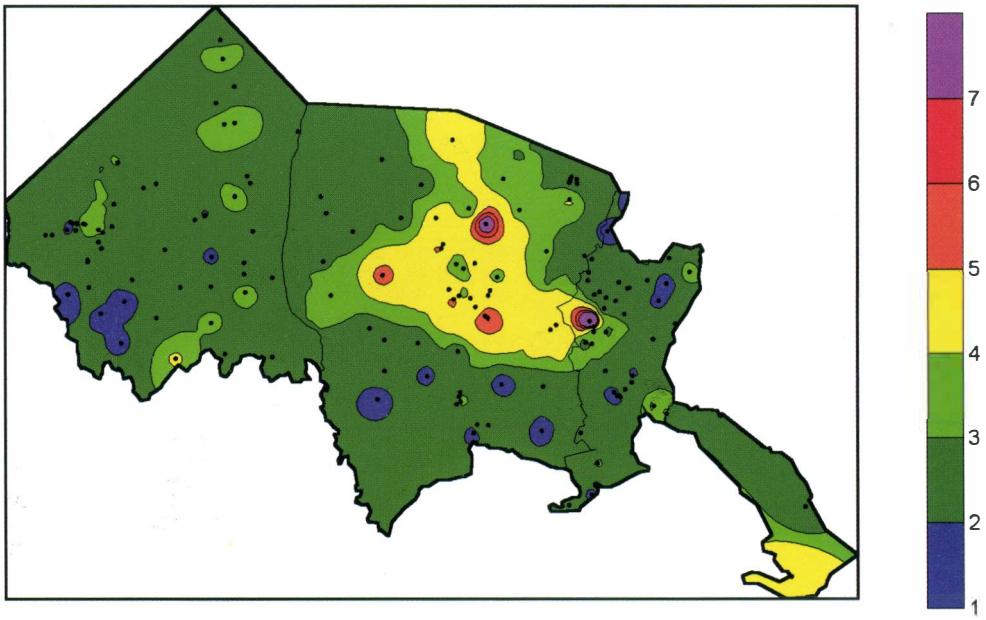

Fig. 16b - Carta dei livelli di naturalità/alterazione di Fe (v. Tab. 1).
Map of the levels of naturality/alteration of Fe (see Tab.1).

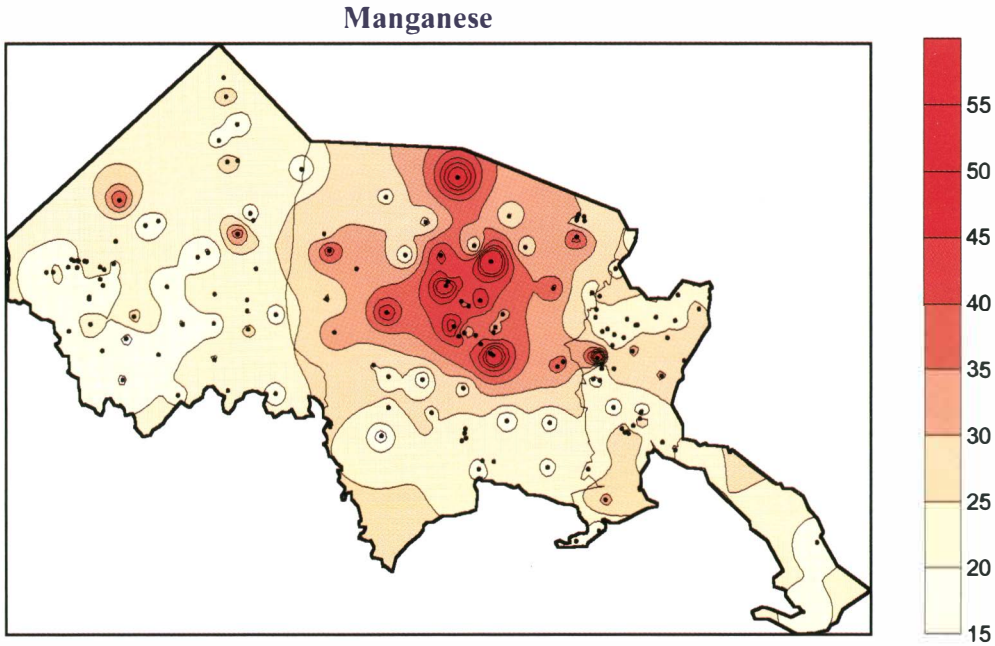

Fig. 17a - Carta delle concentrazioni di Mn nei talli lichenici (ppm).
Map of the concentrations of Mn in lichen thalli (ppm).

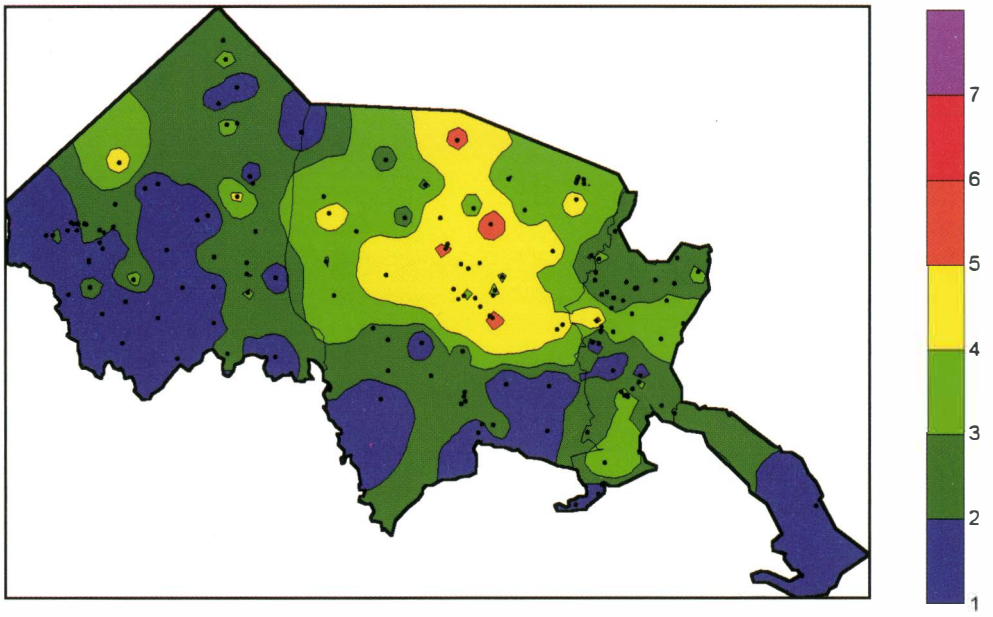

Fig. 17b - Carta dei livelli di naturalità/alterazione di Mn (v. Tab.1).
Map of the levels of naturality/alteration of Mn (see Tab.1).

elevati, paragonati a quelli di altre parti d'Italia, non appaiono particolarmente alti: persino i massimi in Provincia di Udine non indicano, salvo che in un caso, fenomeni di rilevante alterazione ambientale (Fig. 17b).

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. È 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 background italiano in *Xanthoria* è di 0,82 ppm, leggermente più alto del valore corrispondente al 20° percentile delle 396 misure sinora effettuate in Italia (0,63 ppm, Tab. 1). Nell'area di studio il valore medio è di 1,27 ppm, il minimo di 0,08 ppm, in buon accordo con i valori di background, mentre qullo massimo, di 12,55 ppm, è tra i più alti d'Italia. Le stazioni con le concentrazioni più elevate sono Go2 e Ud10 (Tabb. 8-10).

La Fig. 18a mostra una situazione analoga a quella del Ferro: patterns geografici sono evidenti nella parte centrale dell'area di studio (Provincia di Udine) e in quella centro-occidentale della Provincia di Gorizia, mentre la Provincia di Pordenone presenta concentrazioni più basse. Il Vanadio può venire assorbito facilmente dagli ossidi di Ferro, il che potrebbe spiegare la sua buona correlazione con questo metallo. Salvo che nella stazione Go2, i valori non sono tali da far supporre forti contaminazioni da Vanadio: la carta della naturalità/alterazione di Fig.18b mostra una situazione generalmente buona su quasi tutta l'area di studio.

Cluster 3

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.

Il background italiano in *Xanthoria* è di 0,08 ppm, mentre il valore corrispondente al 20° percentile delle 636 misure in diversi licheni foliosi è di 0,2 ppm. Nell'area di studio il valore medio è di 0,46 ppm, il minimo di 0,02 ppm, più basso del valore di background, mentre il massimo, di 2,26 ppm, è il più alto d'Italia. Le stazioni con i valori più elevati sono Ud57, Ud6, Pn7, Ud31, Pn20 (Tabb. 8-10).

La Fig. 19a mostra come le zone più interessate sono la parte settentrionale della Provincia di Pordenone, quella centrale e soprattutto meridionale della Provincia di Udine (con un pattern molto simile a quello del Mercurio), e la fascia centrale della Provincia di Gorizia. La carta dei livelli di naturalità/alterazione (Fig. 19b) suggerisce una situazione piuttosto normale in quasi tutta l'area di studio, salvo alcune isolate località con livelli di alterazione relativamente elevati. Il Cadmio ha un elevato tasso di diffusione, che dipende anche dall'entità delle precipitazioni che ne favoriscono il trasporto a lunga distanza. Una delle fonti principali potrebbe essere l'abuso di fertilizzanti fosfatici e pesticidi.

Cromo - Presente nella crosta terrestre in misura di 80-200 ppm, si trova comunemente nello stato di ossidazione III. È molto usato negli impianti di cromatura, nella produzione di vernici, nelle concerie, cartiere, tintorie industriali, lavorazione dell'acciaio ed altri metalli. Molto tossico è lo stato di ossidazione VI, che può provocare cancro al polmone ed ulcerazioni della pelle (Lee 1972).

Il valore di background Italiano in *Xanthoria* è di 0,76 ppm, quello corrispondente al 20° percentile delle 634 misure sinora effettuate in diversi licheni foliosi epifiti è di 1,2 ppm (Tab. 1). Nell'area di studio il valore medio è di 4,46 ppm, il minimo di 0,79, in buon accordo con il background, mentre il massimo, di 60,45 ppm, è di gran lunga il più alto d'Italia (Tabb. 5-7). Le stazioni con le maggiori concentrazioni sono

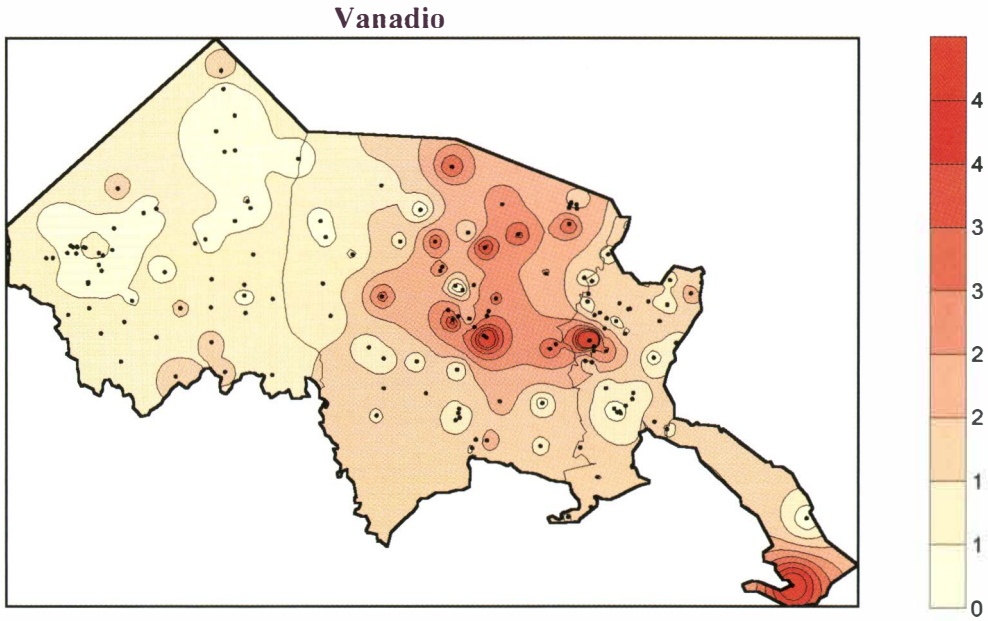

Fig. 18a - Carta delle concentrazioni di V nei talli lichenici (ppm.)
Map of the concentrations of V in lichen thalli (ppm).

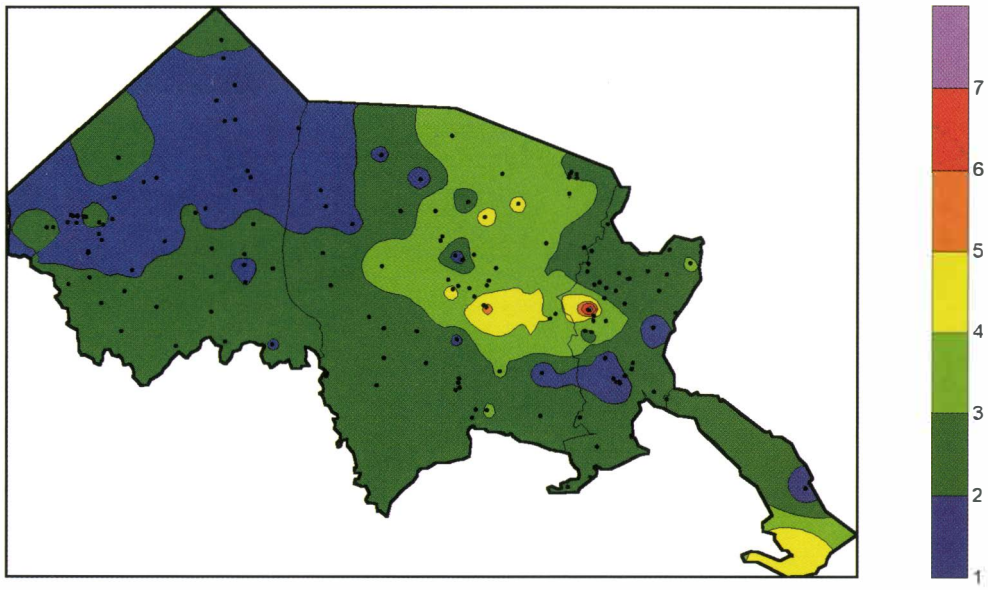

Fig. 18b - Carta dei livelli di naturalità/alterazione di V (v. Tab. 1).
Map of the levels of naturality/alteration of V (see Tab.1).

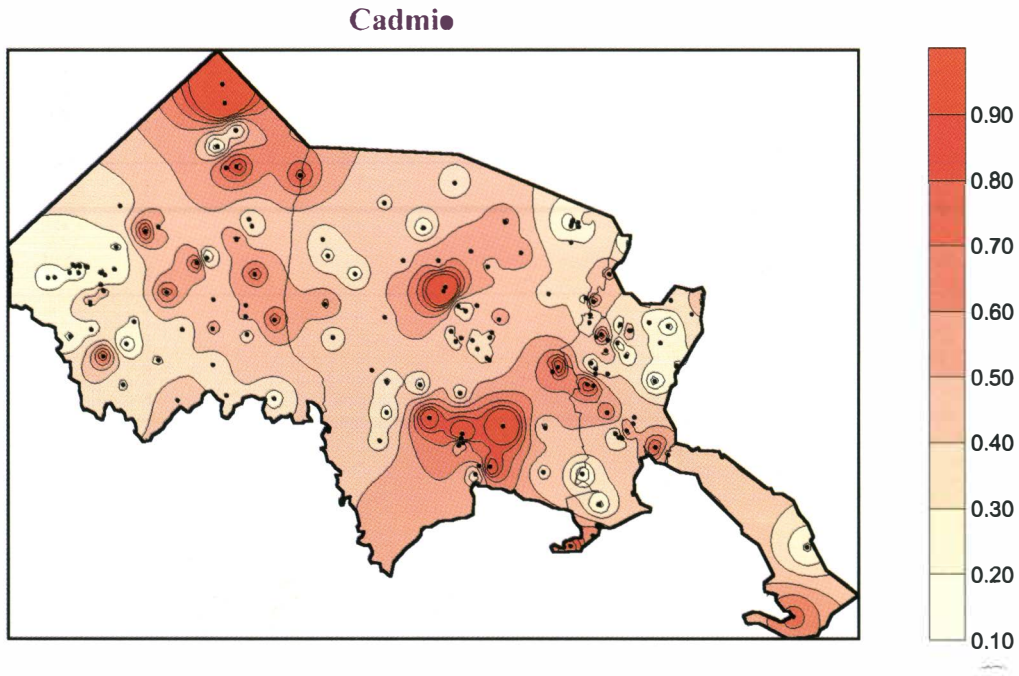

Fig. 19a - Carta delle concentrazioni di Cd nei talli lichenici (ppm).
Map of the concentrations of Cd in lichen thalli (ppm).

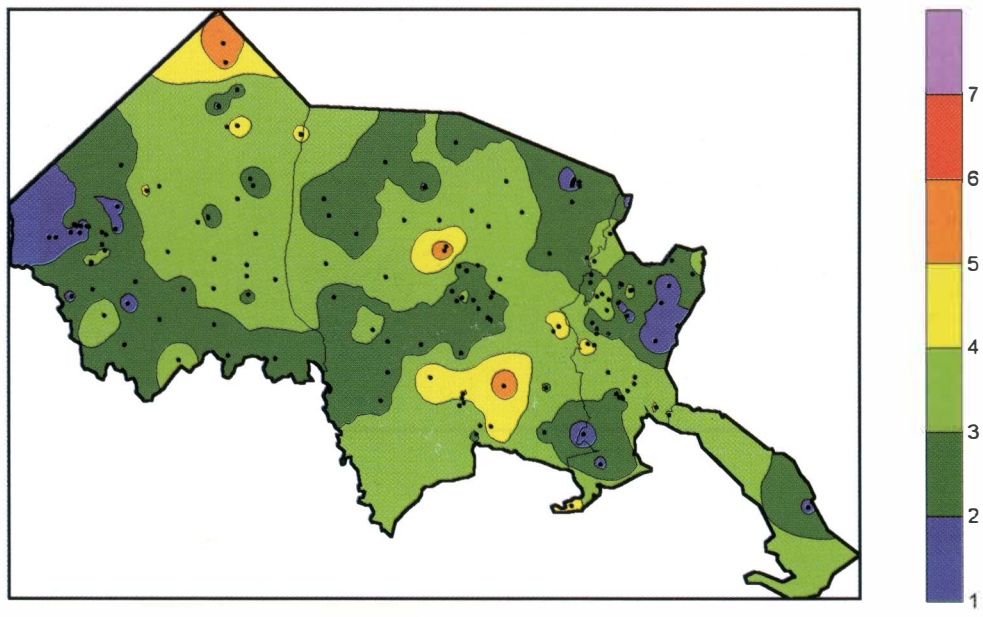

Fig. 19b - Carta dei livelli di naturalità/alterazione di Cd (v. Tab. 1).
Map of the levels of naturality/alteration of Cd (see Tab.1).

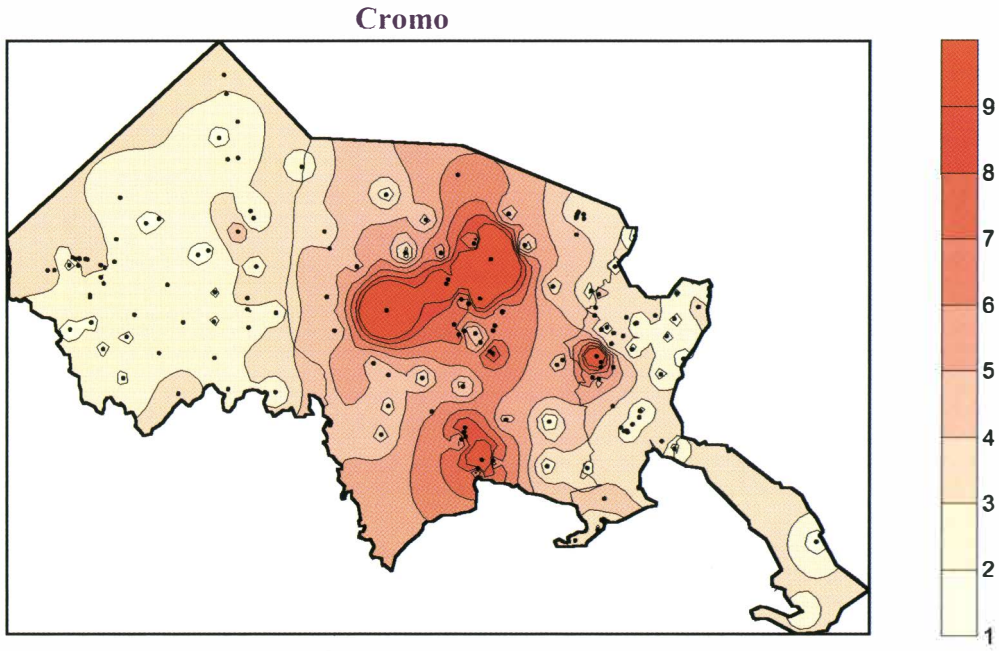

Fig. 20a - Carta delle concentrazioni di Cr nei talli lichenici (ppm).
Map of the concentrations of Cr in lichen thalli (ppm).

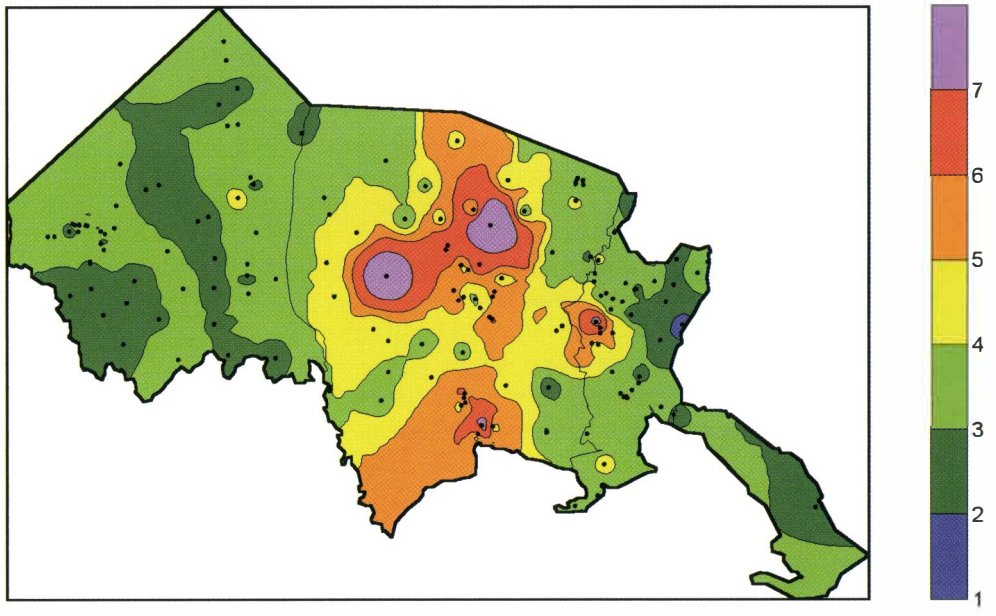

Fig. 20b - Carta dei livelli di naturalità/alterazione di Cr (v. Tab. 1).
Map of the levels of naturality/alteration of Cr (see Tab.1).

Ud54, Ud60, Ud33, Go2, Ud57, Ud18, Ud30, Go1, Pn44, Ud10, Ud8 e Ud9 (Tabb. 8-10).

La Fig. 20a individua chiari patterns geografici con massimi nella parte centrale e meridionale della Provincia di Udine, estesi a quella centro-occidentale della Provincia di Gorizia. Nelle Provincie di Pordenone e di Trieste le concentrazioni sono più omogenee a livelli più bassi. La carta dei livelli di naturalità/alterazione (Fig. 20b) indica situazioni di gravi e diffuse alterazioni ambientali in buona parte della Provincia di Udine, e nella parte centro-occidentale di quella di Gorizia. Ben cinque stazioni hanno concentrazioni notevolmente superiori ai massimi nazionali, che si discostano fortemente sia dal valore minimo che da quello medio locali, il che suggerisce forti contaminazioni da Cromo. Altre stazioni hanno valori superiori al massimo italiano, registrato presso un inceneritore di rifiuti ospedalieri a Macerata (4,24 ppm). I risultati confermano le contaminazioni da Cromo presso le stazioni Ud32, Go17 e Pn8, ipotizzate da indagini precedenti (dati Regione Friuli-Venezia Giulia).

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 (non ci sono limitazioni per la sua presenza nelle acque). 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). Nei licheni, Wohlbier & Lindner (1959) hanno rilevato concentrazioni da 1,40 a 1,60 ppm.

Il background italiano in *Xanthoria* è di 0,54 ppm, mentre il valore corrispondente al 20° percentile delle 635 misure in licheni foliosi epifiti d'Italia è di 1 ppm. Nell'area di studio il valore medio è di 2,16 ppm, quello minimo di 0,09 ppm, più basso del background, ed il massimo di 34,37 ppm, è di gran lunga il più alto sinora registrato in Italia (Tabb. 5-7). Le stazioni con le concentrazioni più alte sono Pn44, Go2, Ud54, Ud10, Go12, Ud57, Ud8, Ud9 (Tabb. 8-10).

La Fig. 21a mostra patterns geografici centrati sulla Provincia di Udine, ed estesi a quella centro-occidentale della Provincia di Gorizia, mentre altre parti della Regione hanno massimi di natura puntiforme. Le stazioni Pn44, Go2, ed Ud54 hanno concentrazioni superiori ai massimi italiani, le altre hanno valori compresi tra i massimi nazionali, che però sono almeno 50 volte maggiori del valore minimo locale, indicando fenomeni di alterazione ambientale piuttosto consistenti. La carta dei livelli di naturalità/alterazione (Fig. 21b) mostra però livelli bassi di alterazione anche nelle aree con i massimi locali: i valori eccezionalmente elevati delle stazioni Pn44, Go2 ed Ud54 sono probabilmente dovuti a fenomeni di inquinamento.

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.

Il background in *Xanthoria* in Italia è di 4,03 ppm, mentre il valore corrispondente al 20° percentile delle 636 misure sinora effettuate su diversi licheni foliosi epifiti è di 6 ppm (Tab. 1). Nell'area di studio il valore medio è di 10,48 ppm, il minimo di 2,20 ppm (la metà di quello di background); il massimo, di 95,3 ppm, è vicino alla media di quelli riscontrati in altre parti d'Italia (Tabb. 5-7). Le stazioni con i valori più alti sono: Ud15, Pn8, Pn1, Ud11, Ud10 e Go24 (Tabb. 8-10).

La Fig. 22a mostra un pattern geografico principale nella porzione centrale della Provincia di Udine, con altri massimi distribuiti in modo puntiforme. Il Rame è utilizzato nella produzione di pesticidi, e le zone maggiormente interessate sono soggette ad agricoltura intensiva. L'elevato tasso di diffusione potrebbe spiegare i patterns geografici evidenti nelle Provincie di Udine e Gorizia. La carta dei livelli di naturalità/alterazione (Fig. 22b) mostra due aree principali con livelli medio-alti che interessano più stazioni: una in Provincia di Udine, l'altra in Provincia di Gorizia.

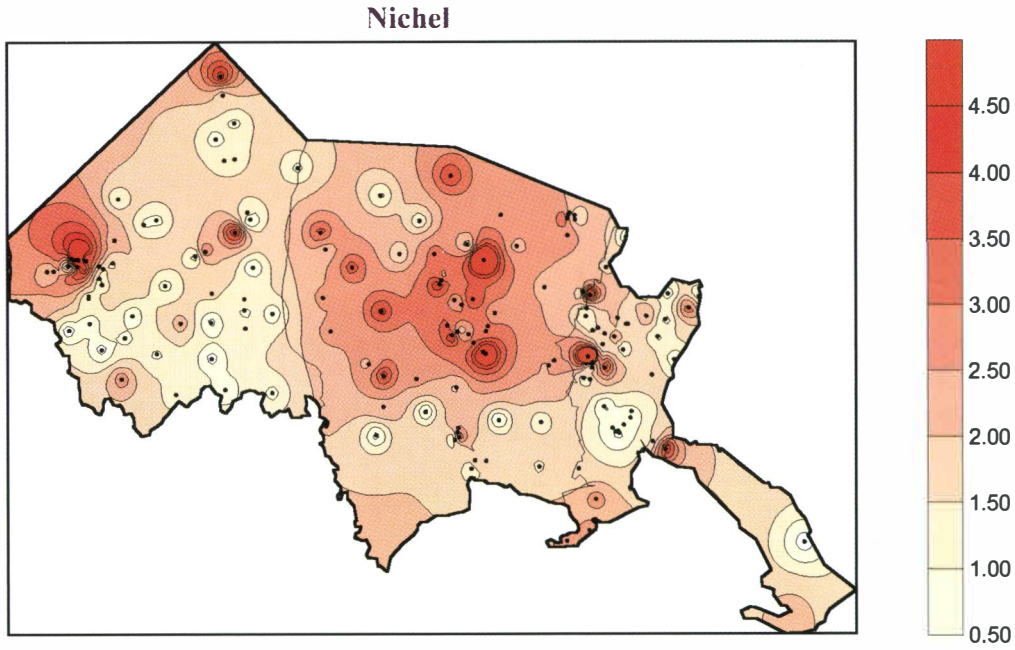

Fig. 21a - Carta delle concentrazioni di Ni nei talli lichenici (ppm).
Map of the concentrations of Ni in lichen thalli (ppm).

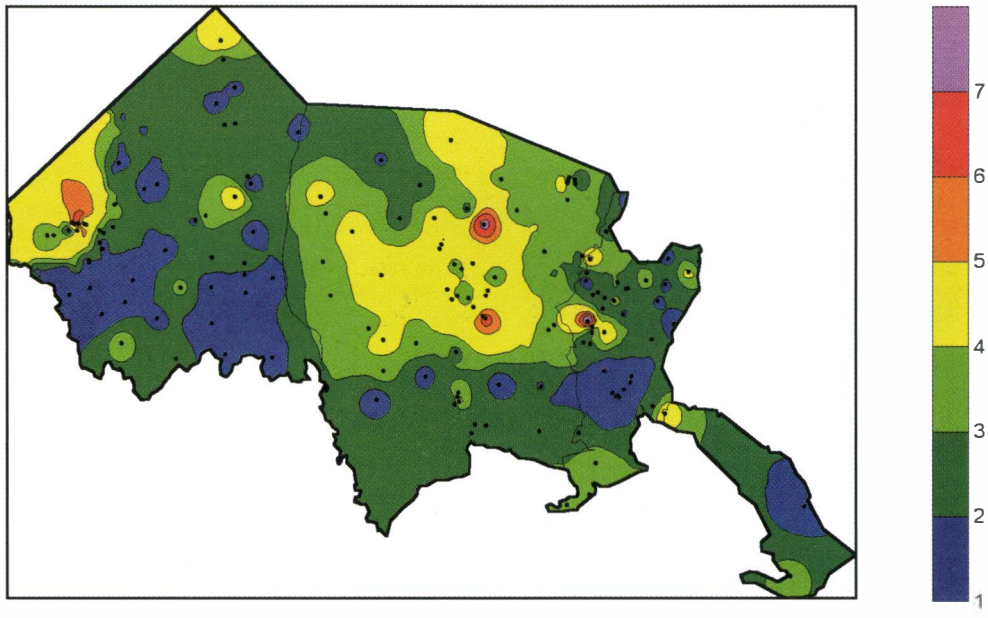

Fig. 21b - Carta dei livelli di naturalità/alterazione di Ni (v. Tab. 1).
Map of the levels of naturality/alteration of Ni (see Tab.1).

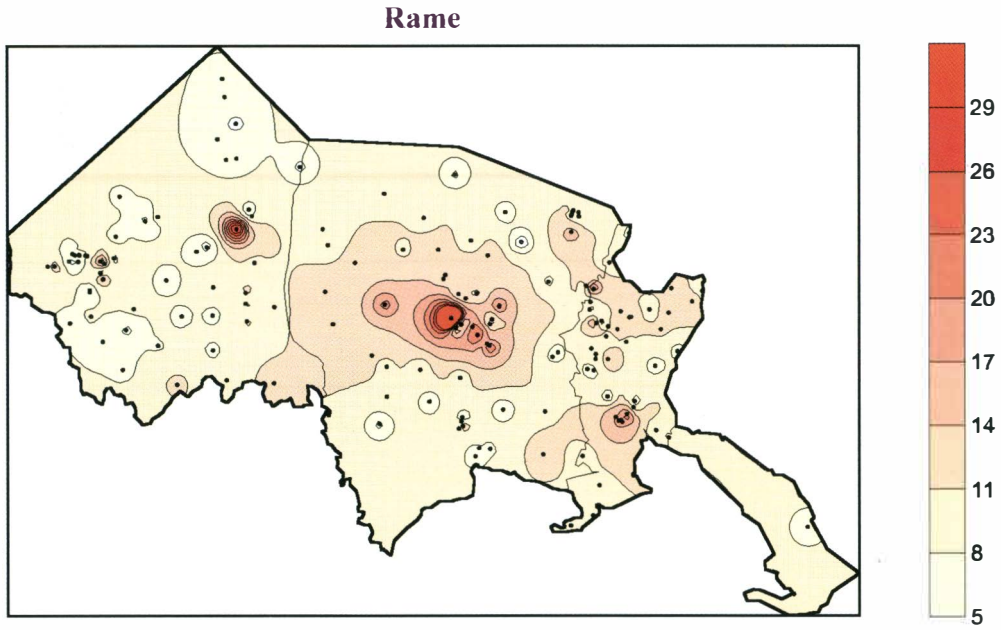

Fig. 22a - Carta delle concentrazioni di Cu nei talli lichenici (ppm).
Map of the concentrations of Cu in lichen thalli (ppm).

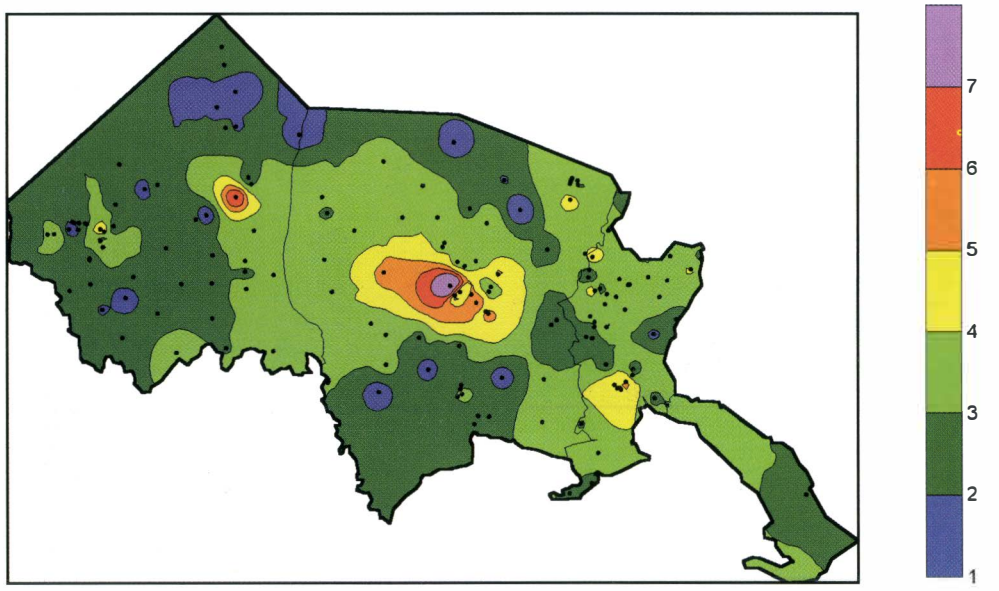

Fig. 22b - Carta dei livelli di naturalità/alterazione di Cu (v. Tab. 1).
Map of the levels of naturality/alteration of Cu (see Tab.1).

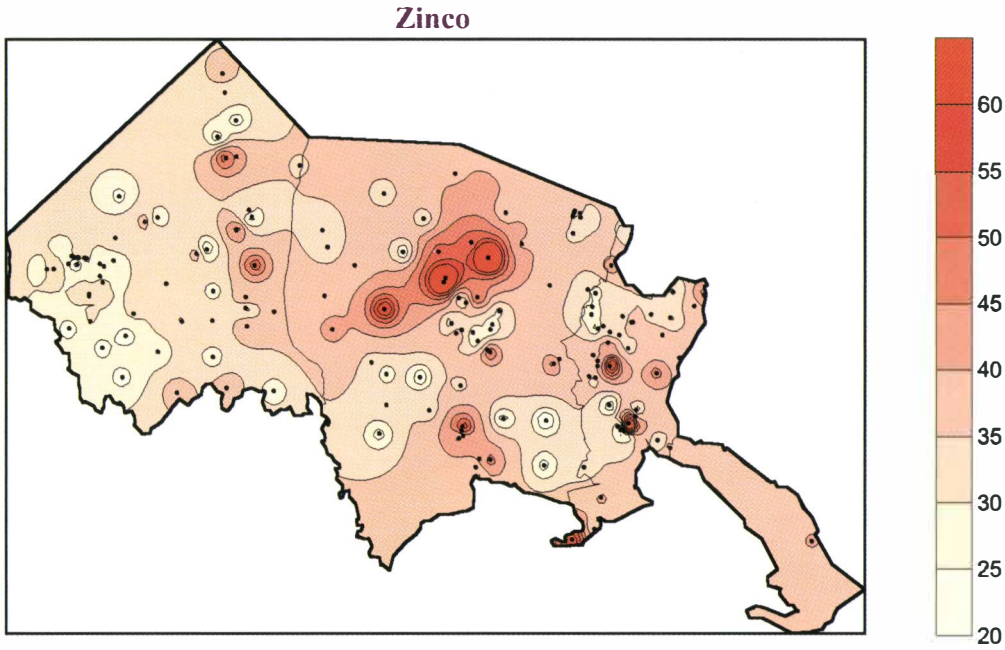

Fig. 23a - Carta delle concentrazioni di Zn nei talli lichenici (ppm).
Map of the concentrations of Zn in lichen thalli (ppm).

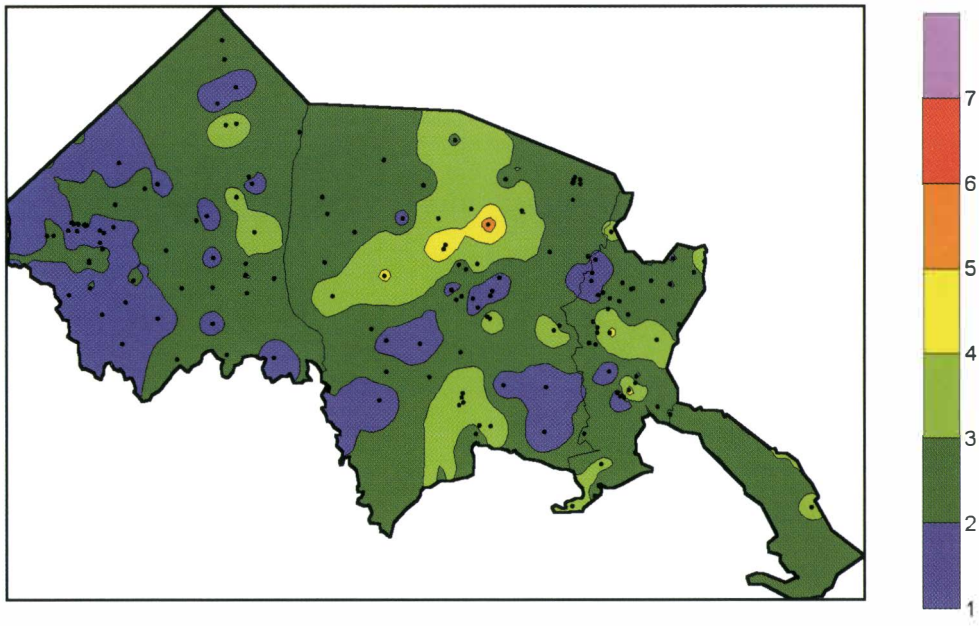

Fig. 23b - Carta dei livelli di naturalità/alterazione di Zn (v. Tab. 1).
Map of the levels of naturality/alteration of Zn (see Tab.1).

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. Esistono pochi dati sui valori di background in ecosistemi naturali, e soprattutto sul tasso di dispersione nell'ambiente: sembra però che lo Zinco abbia un tasso di dispersione elevato. Le concentrazioni in piante superiori variano da 29 a 169 ppm in aree naturali, con valori fino a 354 ppm in aree contaminate.

Il background italiano in *Xanthoria* è di 13,65 ppm, più che doppio del valore corrispondente al 20° percentile delle 679 misure effettuate sinora in diversi licheni foliosi epifiti in Italia (v. Tab. 1). Nell'area di studio il valore medio è di 35,76 ppm, quello minimo è di 12 ppm, molto vicino al valore di background, mentre il massimo è di 115,1 ppm (Tab. 5). Le stazioni con le massime concentrazioni sono: Go24 e Ud54 (Tabb. 9-10).

La Fig. 23a mostra patterns geografici in parti delle Provincie di Gorizia ed Udine, mentre nelle Provincie di Pordenone e di Trieste i valori sono piuttosto omogenei. Lo Zinco è presente in fertilizzanti e pesticidi: ciò può spiegare i massimi locali in zone prevalentemente agricole, che comunque non indicano forti alterazioni ambientali, salvo per le stazioni Go24 ed Ud54. La carta dei livelli di naturalità/alterazione (Fig. 23b) mostra una situazione sostanzialmente buona su quasi tutta l'area di studio.

Sintesi generale

Le Tabb. 8-10 riportano, per le stazioni suddivise per Provincia, i valori degli indici sintetici di naturalità, di alterazione, di carico totale dei metalli e di tossicità potenziale. I riporti cartografici sono mostrati in Fig. 24 (naturalità), Fig. 25 (alterazione), Fig. 26 (carico totale) e Fig. 27 (tossicità potenziale). Queste quattro carte forniscono informazioni diverse e complementari. I patterns geografici delle Fig. 26 e 27 sono molto simili, il che indica che nell'area di studio i metalli più tossici presentano i massimi nelle stazioni con un maggiore carico complessivo da metalli. La Tab. 11 elenca le stazioni con i massimi valori dell'indice di tossicità potenziale.

Provincia di Pordenone - La carta della naturalità (Fig. 24) mostra che le concentrazioni di molti metalli rientrano in situazioni «normali» per il territorio italiano, con un leggero peggioramento dalla parte occidentale a quella orientale del territorio. La carta dell'alterazione (Fig. 25) indica fenomeni di alterazione moderata e puntiforme: la stazione con la più alta alterazione ambientale, Pn114, è interessata da valori eccezionalmente alti del solo Tellurio. Alterazioni piuttosto consistenti da Cr (Pn44), Cu (Pn8), Ni, Se (Pn49, Pn50), e Te (Pn104) (Tab. 8) sono limitate alla parte centro-orientale della Provincia, e a singole stazioni spazialmente non contigue. Questa Provincia presenta i minori livelli di alterazione a livello regionale, come confermato dalla carta del carico totale di metalli (Fig. 26), e da quella della tossicità potenziale (Fig. 27).

Provincia di Udine - La Tab. 9, ed i relativi riporti cartografici (Figg. 24, 25, 26 e 27) indicano che questa Provincia presenta la situazione più grave di tutta l'area di studio, con ben 10 stazioni con tossicità potenziale superiore a «3», e con concentrazioni particolarmente elevate di Cadmio e Cromo. La carta della naturalità di Fig. 24 mostra alti livelli di naturalità nella parte meridionale della Provincia, con una progressiva diminuzione verso nord. La carta dell'alterazione ambientale (Fig. 25) suggerisce fenomeni di alterazione piuttosto rilevanti nella sua porzione centrale (Tab. 11), moderati su tutta la porzione meridionale. La carta del carico totale di metalli (Fig. 26) mostra come qui si raggiungano i massimi carichi totali di metalli, e soprattutto di Al, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Se e Te. La carta della tossicità potenziale (Fig. 27) differisce poco da quella del carico totale (Fig. 26), suggerendo un maggiore rischio-salute nella zona centrale della Provincia, dovuto a metalli come Cr, Cd, Ni, Se e Te.

Provincie di Gorizia e Trieste - I livelli di naturalità (Fig. 24) sono medio-alti in entrambe le Provincie, tranne in alcune aree molto localizzate corrispondenti ai principali centri abitati. La carta dell'alterazione ambientale (Fig. 25) e quella del carico totale da metalli (Fig. 26) mostrano patterns geografici centrati nella porzione centro-occidentale della Provincia per metalli come Ba, Cr, Mn, Ni, Se e V. Nel Monfalconese i valori più alti riguardano soprattutto Ba, Cd, e Se, nel Gradese il Cd, le cui fonti principali potrebbero essere le vicine aree industriali nella parte sud-orientale della Provincia di Udine. Nella stazione Go17 è stato confermato il perdurare dell'inqui-

Tab. 8 - Valori della naturalità/alterazione di ciascun metallo in ciascuna stazione, indice sintetico di naturalità (*I.N.*), di alterazione (*I.A.*), carico totale di metalli (*C.*) ed indice sintetico di tossicità potenziale (*T.P.*) nelle stazioni della Provincia di Pordenone.

Values of naturality/alteration of each metal in each station, synthetic index of naturality (I.N.), *of environmental alteration* (I.A.), *total load of metals* (C.), *and index of potential toxicity* (T.P.) *in the Province of Pordenone.*

Stazione	Al	As	Ba	Be	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	Te	V	Zn	I.N.	I.A.	C.	T.P.
PN1	3	2	4	2	2	4	5	3	3	3	3	1	5	2	2	1	2,8	0,0	3,0	2,7
PN2	1	3	2	2	4	2	1	1	1	1	1	1	5	2	2	1	6,6	0,0	1,5	1,8
PN3	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	6,9	0,0	1,0	0,8
PN4	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	1	1	8,4	0,0	0,5	0,6
PN6	3	2	2	2	2	3	2	3	2	4	1	2	5	2	2	1	4,1	0,0	2,3	1,9
PN7	2	1	1	2	5	3	2	2	2	2	4	1	2	2	2	2	5,0	0,0	2,0	2,1
PN8	3	2	2	2	3	4	6	3	2	4	4	3	2	3	1	3	2,2	0,3	3,2	2,8
PN20	3	1	2	2	5	3	1	3	2	3	2	1	2	3	1	2	4,4	0,0	2,1	1,8
PN23	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1	1	3	3	1	1	6,9	0,0	1,0	1,0
PN24	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	1	1	2	2	1	1	7,8	0,0	0,7	0,7
PN25	3	1	2	3	3	3	1	3	2	3	2	1	2	2	1	3	4,1	0,0	2,0	1,7
PN27	3	2	2	2	4	3	1	3	2	3	2	1	2	3	1	3	3,8	0,0	2,2	1,9
PN28	2	1	2	2	4	2	1	2	2	1	1	1	2	2	1	2	6,6	0,0	1,3	1,3
PN30	2	1	1	2	4	2	1	1	1	1	1	1	2	3	1	2	7,2	0,0	1,0	1,2
PN33	2	1	1	2	1	2	1	1	2	1	3	1	2	2	1	1	7,5	0,0	0,8	0,8
PN34	2	1	2	2	3	3	2	2	2	1	2	2	2	3	1	3	4,7	0,0	1,8	1,8
PN35	2	1	2	2	3	3	4	2	2	1	1	1	3	2	1	2	5,3	0,0	1,7	1,7
PN36	2	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	2	2	1	1	8,1	0,0	0,6	0,5
PN37	1	1	1	2	2	3	1	1	1	1	2	1	2	4	1	1	7,5	0,0	0,9	1,1
PN38	2	1	2	2	2	3	2	3	2	2	3	2	2	2	2	2	4,4	0,0	1,9	1,8
PN39	4	2	2	2	2	3	1	4	2	3	3	2	2	2	3	1	3,8	0,0	2,3	1,9
PN40	1	1	1	2	1	3	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	8,1	0,0	0,6	0,8
PN41	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	4	1	1	8,1	0,0	0,7	0,8
PN42	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	1	1	9,1	0,0	0,3	0,3
PN43	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	4	1	1	8,4	0,0	0,6	0,7
PN44	2	1	1	1	1	6	4	3	1	3	7	1	2	2	1	4	5,3	0,9	2,5	2,0
PN45	2	1	2	1	1	3	4	3	1	2	2	1	2	3	2	2	5,3	0,0	1,7	1,3
PN46	2	2	2	1	1	3	1	2	1	1	3	1	2	2	2	1	6,6	0,0	1,1	1,1
PN47	1	1	1	1	2	3	1	1	1	1	2	1	3	2	2	2	7,2	0,0	0,9	1,1
PN48	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	3	2	2	1	7,8	0,0	0,7	0,6
PN49	2	1	2	1	1	3	1	2	1	2	3	2	6	4	1	2	5,6	0,3	1,9	1,5
PN50	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	6	2	2	1	8,1	0,3	0,9	1,0
PN51	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	4	5	2	2	1	1	7,5	0,0	1,1	1,3
PN101	1	1	1	4	3	2	2	1	2	2	2	2	2	3	2	1	5,6	0,0	1,6	1,9
PN102	2	1	2	4	3	3	3	2	2	2	1	2	4	3	2	3	3,4	0,0	2,4	2,5
PN103	2	1	1	3	3	2	2	2	2	1	1	3	3	3	2	2	4,7	0,0	1,8	2,0
PN104	2	1	1	3	2	3	2	2	2	1	3	3	2	6	2	2	4,4	0,3	2,2	2,3
PN105	2	2	3	3	3	3	3	2	2	1	1	3	3	3	2	2	3,1	0,0	2,3	2,6
PN106	1	1	1	3	3	2	2	1	2	1	1	2	3	4	1	1	6,3	0,0	1,4	1,7
PN107	2	1	2	3	3	4	3	3	2	2	2	3	2	3	2	3	2,8	0,0	2,5	2,6
PN108	3	1	2	3	2	3	3	3	2	3	1	3	2	4	1	2	3,4	0,0	2,3	2,0
PN109	2	1	1	3	2	2	3	2	2	1	1	2	2	4	1	1	5,9	0,0	1,5	1,5
PN110	2	1	1	3	2	2	2	2	2	2	1	2	5	2	2	2	5,3	0,0	1,8	1,8
PN111	4	2	2	3	3	4	3	4	2	1	2	3	3	2	2	3	2,5	0,0	2,8	2,8
PN112	3	1	2	2	2	2	2	3	3	1	1	3	2	2	2	1	5,0	0,0	1,7	1,7
PN113	2	1	1	3	2	2	2	2	2	1	1	2	4	6	2	1	5,6	0,3	1,9	1,9
PN114	2	1	1	3	3	2	2	2	2	1	1	3	2	7	2	1	5,3	0,6	2,0	2,2
PN115	1	1	1	3	2	2	2	1	2	1	3	2	2	2	2	1	6,3	0,0	1,3	1,6
PN116	2	1	2	3	2	2	2	2	2	2	1	3	2	4	2	2	4,7	0,0	1,9	1,9
PN117	1	1	1	3	1	2	1	1	1	1	1	2	2	5	2	1	7,5	0,0	1,0	1,3
PN118	2	1	2	3	2	2	2	2	2	3	1	3	2	4	1	2	4,7	0,0	1,9	1,8
PN119	2	1	1	3	4	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	5,6	0,0	1,6	1,8
PN120	2	1	1	3	3	3	1	2	2	1	1	2	2	2	1	2	5,9	0,0	1,4	1,6

Tab. 9 - Valori della naturalità/alterazione di ciascun metallo in ciascuna stazione, indice sintetico di naturalità (*I.N.*), di alterazione (*I.A.*), carico totale di metalli (*C.*) ed indice sintetico di tossicità potenziale (*T.P.*) nelle stazioni della Provincia di Udine.

Values of naturality/alteration of each metal in each station, synthetic index of naturality (I.N.), of environmental alteration (I.A.), total load of metals (C.), and index of potential toxicity (T.P.) in the province of Udine.

Stazione	Al	As	Ba	Be	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	Te	V	Zn	I.N.	I.A.	C.	T.P.
UD2	2	1	2	2	3	3	1	3	2	2	3	2	2	3	3	2	3,8	0,0	2,1	2,1
UD3	3	1	2	1	3	3	1	3	2	3	3	2	7	3	4	2	3,1	0,6	2,8	2,5
UD5	1	1	1	1	2	3	1	1	1	1	1	1	6	2	2	1	7,8	0,3	1,0	1,2
UD6	1	1	1	1	5	4	1	1	4	1	1	1	4	3	3	1	6,3	0,0	1,8	2,4
UD8	5	3	3	4	2	6	2	6	2	4	5	3	2	2	4	3	1,6	0,6	4,2	3,8
UD9	5	3	3	4	2	6	2	6	2	4	5	3	2	2	4	3	1,6	0,6	4,2	3,8
UD10	6	3	4	4	3	6	5	6	3	6	6	3	2	2	5	3	0,6	1,6	5,3	4,7
UD11	3	2	3	1	2	3	5	3	2	4	4	1	4	3	3	1	2,8	0,0	2,9	2,3
UD12	3	2	3	1	2	3	4	3	2	4	3	2	2	2	2	1	3,4	0,0	2,4	1,9
UD13	1	1	1	1	4	4	1	1	1	2	1	1	7	4	2	2	6,6	0,6	1,9	2,0
UD15	4	2	3	2	2	5	7	4	2	5	4	2	2	2	3	1	2,8	0,6	3,5	2,9
UD16	3	2	2	1	2	4	3	3	2	4	3	2	2	3	1	2	3,4	0,0	2,4	1,9
UD17	3	2	2	1	2	4	3	3	2	4	3	2	2	3	1	2	3,4	0,0	2,4	1,9
UD18	4	2	3	2	2	6	2	4	2	4	4	3	2	2	3	3	2,2	0,3	3,3	3,0
UD20	3	2	2	1	3	3	1	2	3	2	2	2	2	2	2	2	4,4	0,0	1,9	1,9
UD21	4	2	3	1	2	5	2	4	2	3	4	3	2	2	3	1	3,1	0,0	2,8	2,5
UD22	4	2	3	1	2	5	2	4	2	3	4	3	2	2	3	1	3,1	0,0	2,8	2,5
UD23	4	2	4	1	3	4	4	3	2	3	3	2	2	3	3	1	2,5	0,0	2,9	2,6
UD24	4	2	5	1	3	4	2	4	1	4	3	3	5	5	4	3	1,9	0,0	3,9	3,3
UD25	4	2	3	1	4	4	1	3	2	4	4	2	2	2	3	2	3,1	0,0	2,8	2,5
UD26	4	3	4	2	2	5	1	4	2	5	4	3	3	3	4	2	1,9	0,0	3,6	3,3
UD27	4	2	3	1	2	4	4	4	2	4	3	3	2	2	4	2	2,5	0,0	3,1	2,7
UD28	3	1	3	1	2	3	1	3	1	4	3	2	2	2	3	2	4,1	0,0	2,1	1,6
UD29	2	1	2	3	2	2	2	2	3	1	2	1	6	2	2	2	5,0	0,3	2,0	2,0
UD30	1	1	2	2	4	6	2	3	2	2	1	2	6	2	1	3	4,7	0,6	2,5	2,7
UD31	2	1	1	2	5	5	1	2	2	2	4	2	5	6	2	3	4,1	0,3	3,0	3,2
UD32	1	1	1	2	3	5	3	3	2	2	4	2	2	2	2	3	4,1	0,0	2,3	2,4
UD33	1	1	1	2	3	7	2	2	3	2	3	1	2	2	2	3	4,7	0,6	2,2	2,6
UD34	1	1	1	1	2	3	1	1	3	1	1	1	3	2	2	2	6,9	0,0	1,0	1,3
UD35	3	1	1	1	4	4	2	2	3	2	2	1	2	3	3	3	4,1	0,0	2,2	2,3
UD54	4	2	4	3	3	7	3	7	3	5	7	4	2	3	4	5	0,6	1,9	5,2	4,7
UD55	3	1	2	2	3	4	2	2	2	2	2	2	3	2	2	3	3,8	0,0	2,2	2,2
UD56	3	1	3	2	4	4	3	3	2	3	3	3	2	2	3	4	1,9	0,0	3,0	2,9
UD57	4	2	3	2	6	7	3	6	2	5	5	3	2	2	3	4	1,6	1,3	4,5	4,1
UD59	4	2	3	2	3	4	3	4	2	4	4	2	2	2	4	3	1,9	0,0	3,3	2,9
UD60	4	2	4	2	3	7	4	5	3	4	4	3	2	5	3	4	0,9	0,6	4,5	4,1
UD301	1	1	3	1	2	3	1	2	1	2	1	2	4	6	2	2	5,6	0,3	1,9	1,8
UD302	1	1	1	3	2	2	3	1	2	1	2	4	2	7	2	1	5,6	0,6	2,0	2,3
UD303	2	1	1	3	2	2	3	2	2	1	1	3	3	6	1	1	5,3	0,3	1,9	1,9
UD304	2	2	1	3	2	3	2	2	4	2	2	3	3	5	1	2	3,8	0,0	2,4	2,6
UD305	2	1	1	3	2	3	2	2	4	1	3	4	2	4	2	1	4,4	0,0	2,2	2,6
UD306	2	1	1	3	2	3	3	2	2	2	3	3	2	2	2	2	4,1	0,0	2,0	2,1
UD307	2	2	1	3	2	4	3	2	4	2	4	2	2	4	2	1	3,8	0,0	2,5	2,8
UD308	2	2	1	3	3	4	3	2	2	2	3	2	3	4	2	2	3,1	0,0	2,5	2,7
UD309	3	2	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	2	4	2	3	1,6	0,0	2,9	2,8
UD310	3	2	3	3	3	3	3	2	2	2	3	2	2	4	2	2	2,5	0,0	2,6	2,6
UD311	2	1	1	3	2	4	3	2	2	3	4	2	2	3	1	2	4,1	0,0	2,2	2,1
UD312	2	2	2	3	2	3	2	2	2	4	3	2	3	4	1	2	3,4	0,0	2,4	2,2
UD313	2	2	1	3	2	3	3	2	2	3	4	2	2	3	1	2	3,8	0,0	2,2	2,1
UD314	2	2	2	3	2	3	2	2	2	2	1	3	2	3	1	2	4,4	0,0	1,9	2,0
UD315	2	2	1	3	1	3	2	2	2	2	2	3	2	3	1	2	4,7	0,0	1,8	1,8
UD316	2	2	3	3	3	2	3	2	2	1	2	3	2	3	2	1	3,8	0,0	2,1	2,3
F1	2	2	1	3	1	4	3	2	1	2	4	3	2	4	2	2	4,1	0,0	2,3	2,3
F2	3	1	2	3	1	3	3	2	2	4	4	3	2	3	3	2	2,8	0,0	2,6	2,3
F3	3	3	2	3	2	3	3	3	1	3	4	3	3	2	3	3	1,6	0,0	2,9	2,8
F4	1	2	1	4	1	3	1	1	1	1	2	2	3	3	3	1	5,9	0,0	1,5	1,9
F5	2	2	2	4	3	2	3	2	1	2	1	2	2	5	2	2	4,4	0,0	2,2	2,3
F6	2	1	1	3	1	3	3	2	1	3	2	3	2	2	2	3	4,4	0,0	1,9	1,8

Tab. 10 - Valori della naturalità/alterazione di ciascun metallo in ciascuna stazione, indice sintetico di naturalità (*I.N.*), di alterazione (*I.A.*), carico totale di metalli (*C*) ed indice sintetico di tossicità potenziale (*T.P.*) nelle stazioni della Provincie di Gorizia e Trieste.
Values of naturality/alteration of each metal in each station, synthetic index of naturality (I.N.), of environmental alteration (I.A.), total load of metals (C), and index of potential toxicity (T.P.) in the provinces of Gorizia and Trieste.

Stazione	Al	As	Ba	Be	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	Te	V	Zn	I.N.	I.A.	C.	T.P.
GO1	3	2	2	2	2	6	3	3	3	3	3	2	2	2	4	3	2,2	0,3	3,0	3,1
GO2	7	3	6	4	2	7	3	7	2	5	7	1	2	2	7	3	1,9	3,4	5,4	4,6
GO3	1	1	1	2	4	5	1	1	2	1	1	1	3	4	2	2	6,3	0,0	1,7	2,2
GO4	1	1	4	1	3	2	2	1	2	2	2	3	2	4	2	3	4,7	0,0	2,0	2,1
GO5	1	1	1	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	3	2	3	5,3	0,0	1,6	1,8
GO9	3	2	3	1	1	1	3	2	3	3	1	4	3	2	2	2	4,1	0,0	2,1	1,8
GO10	2	1	1	1	2	4	4	2	3	3	4	1	2	7	3	4	3,8	0,6	2,9	2,7
GO11	2	1	2	1	2	3	2	2	2	2	2	1	3	3	2	1	5,3	0,0	1,6	1,4
GO12	2	2	3	1	3	4	4	2	3	3	5	1	2	2	2	1	3,8	0,0	2,5	2,4
GO13	2	1	3	2	4	2	1	1	2	2	2	2	3	2	2	2	5,0	0,0	1,8	1,9
GO14	2	1	3	2	4	2	1	1	2	2	2	2	3	2	2	2	5,0	0,0	1,8	1,9
GO15	3	3	5	2	2	4	1	2	1	2	1	3	6	2	1	1	4,7	0,3	2,4	2,3
GO16	1	1	2	2	2	3	4	1	1	2	2	2	4	2	2	1	5,6	0,0	1,7	1,8
GO17	1	2	2	2	2	5	1	2	1	1	1	1	5	4	1	1	6,6	0,0	1,7	1,8
GO20	2	2	2	2	2	3	4	1	1	3	1	2	4	2	2	1	5,0	0,0	1,9	1,8
GO21	2	2	3	2	2	3	4	1	1	3	1	2	6	2	1	2	4,7	0,3	2,2	2,0
GO22	2	2	3	2	2	3	4	1	1	3	1	2	6	2	1	2	4,7	0,3	2,2	2,0
GO23	2	2	2	2	2	3	4	1	1	3	1	2	4	2	2	1	5,0	0,0	1,9	1,8
GO24	2	2	2	2	4	3	5	2	2	2	1	2	3	2	1	6	4,1	0,3	2,6	2,6
GO25	2	2	2	2	3	3	2	2	1	3	1	2	5	4	2	2	4,1	0,0	2,3	2,2
GO26	1	1	7	1	3	2	1	1	2	1	1	1	5	2	2	1	6,9	0,6	1,7	1,8
GO27	2	2	2	3	3	3	1	2	2	1	1	1	7	2	1	1	5,6	0,6	1,9	2,0
GO28	4	2	6	3	4	4	2	4	2	2	2	2	5	3	2	2	2,5	0,3	3,4	3,2
GO29	2	2	3	2	4	3	1	3	2	1	2	1	3	2	2	2	4,4	0,0	2,0	2,1
GO30	1	1	1	1	3	3	3	2	2	1	2	1	2	3	2	1	5,9	0,0	1,4	1,5
GO31	2	1	1	2	1	1	1	2	1	3	1	4	2	3	2	2	6,3	0,0	1,4	1,2
GO32	2	1	1	1	1	2	1	2	2	3	2	3	2	2	1	3	5,9	0,0	1,4	1,1
GO44	1	1	2	4	1	2	2	1	1	2	1	2	2	3	2	2	6,3	0,0	1,4	1,5
GO64	1	1	1	3	1	3	3	1	1	2	3	4	2	2	2	2	5,3	0,0	1,7	1,9
GO66	2	1	2	3	1	2	4	2	2	3	2	3	2	2	2	2	4,4	0,0	2,0	1,8
GO70	2	2	2	4	1	4	3	2	1	2	3	2	2	3	2	2	4,1	0,0	2,2	2,3
GO74	2	1	1	4	2	2	3	2	2	2	1	2	2	2	2	1	5,6	0,0	1,6	1,7
GO84	3	2	2	3	2	3	4	3	1	3	4	3	2	2	3	2	2,5	0,0	2,7	2,5
GO86	2	2	1	3	3	2	2	2	2	2	1	3	3	2	2	3	4,1	0,0	2,0	2,2
GO87	1	1	1	3	1	2	3	1	1	2	1	2	2	2	2	1	6,9	0,0	1,0	1,2
GO89	1	1	1	3	2	2	3	1	1	3	1	3	2	5	2	2	5,3	0,0	1,8	1,8
GO95	1	1	1	3	2	3	2	2	2	1	3	2	2	3	2	2	5,0	0,0	1,7	1,9
GO207	2	1	2	3	1	3	2	2	2	2	2	3	2	6	2	2	4,4	0,3	2,2	2,2
GO208	3	2	1	3	1	4	2	3	1	3	3	2	2	2	2	3	3,8	0,0	2,2	1,9
GO209	1	1	1	3	3	3	2	1	3	1	3	2	2	2	2	2	5,0	0,0	1,7	2,2
GO210	1	2	1	3	4	3	2	2	2	1	3	3	3	3	2	4	3,4	0,0	2,4	2,8
TS1	3	1	2	2	3	2	2	2	2	1	4	3	2	2	2	2	4,4	0,0	2,0	2,0
TS5	1	1	2	2	1	2	1	1	2	1	1	3	2	2	1	3	6,9	0,0	1,0	1,3
TS6	2	1	3	2	3	3	2	4	1	1	3	3	4	2	4	2	3,4	0,0	2,5	2,5

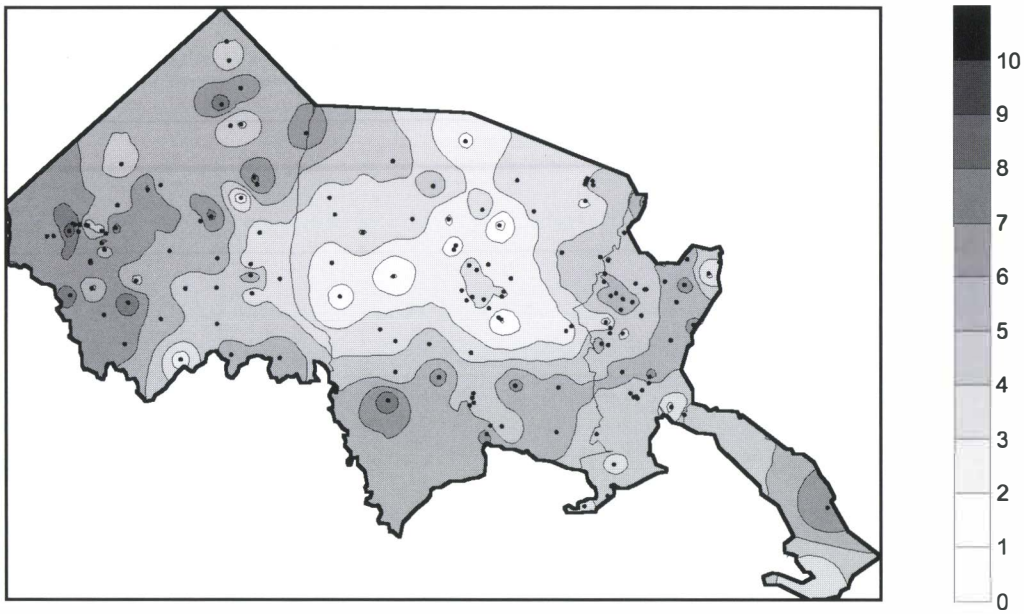

Fig. 24 - Carta dell'indice sintetico di naturalità *(I.N.)* nell'area di studio (v. testo).
Map of the index of naturality (I.N.) in the survey area (see text).

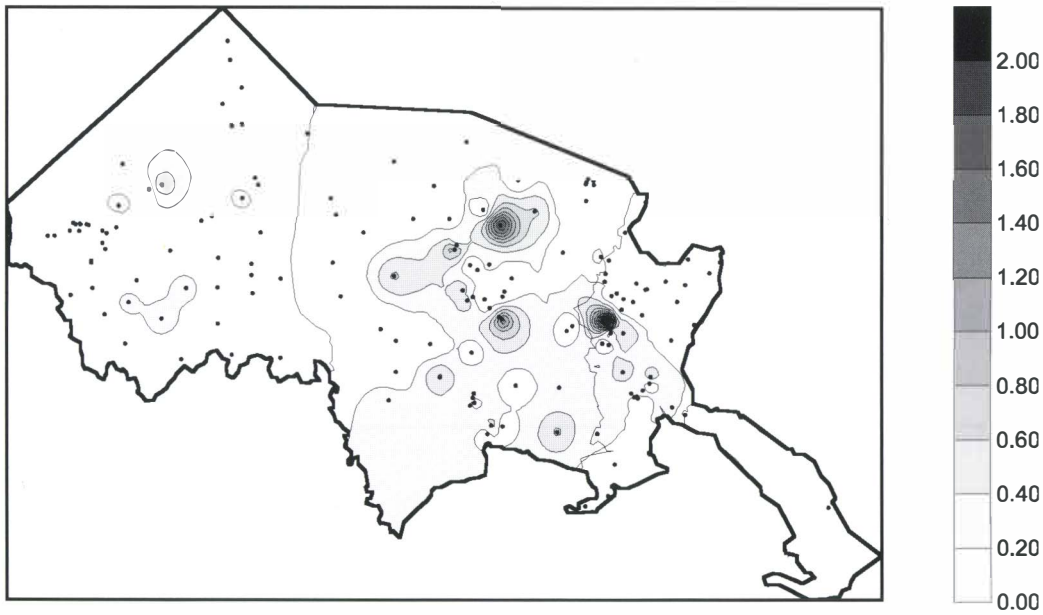

Fig. 25 - Carta dell'indice sintetico di alterazione *(I.A.)* nell'area di studio (v. testo).
Map of the index of environmental alteration (I.A.) in the survey area (see text).

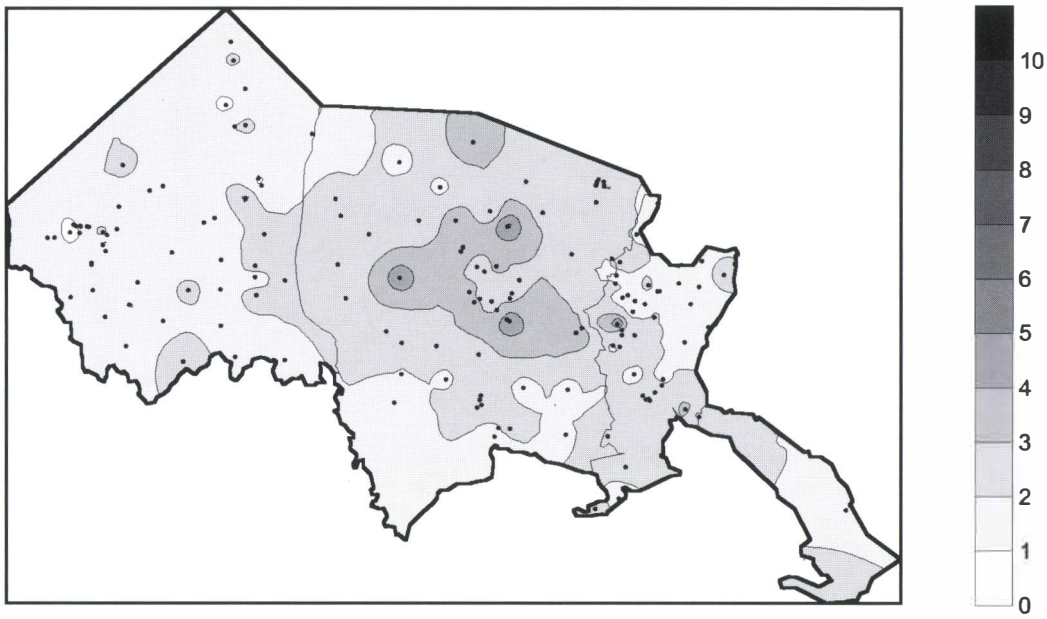

Fig. 26 - Carta del carico totale dei metalli (v. testo e Tab. 1).
Map of the total load of metals (see text and Tab. 1).

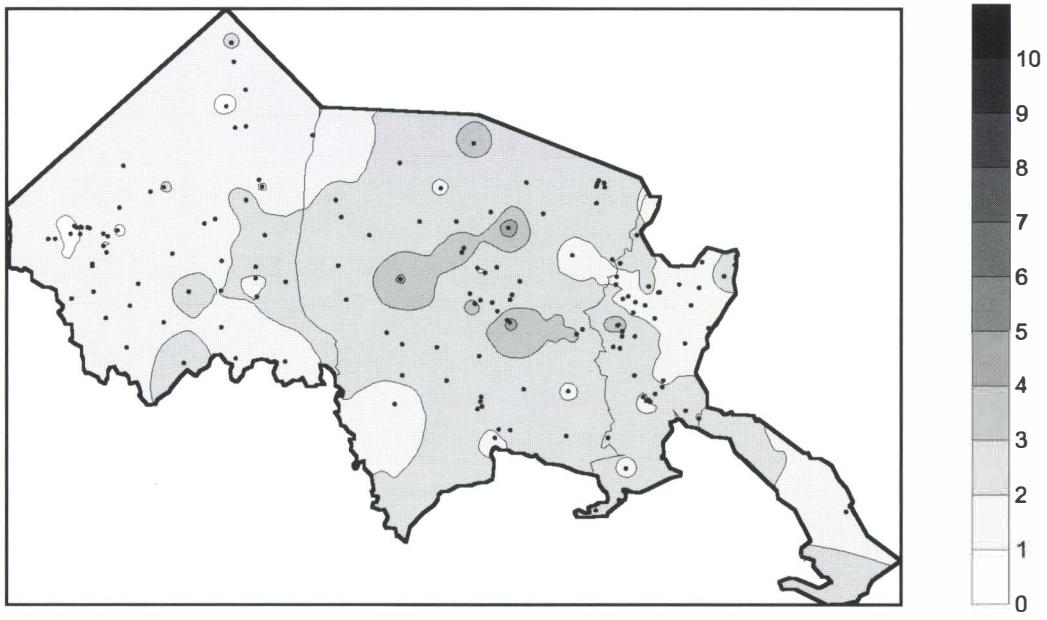

Fig. 27 - Carta dell'indice sintetico di tossicità potenziale (v. testo e Tab. 1).
Map of the index of potential toxicity (see text and Tab. 1).

Tab. 11 - Stazioni con i massimi valori dell'indice sintetico di tossicità potenziale (*T.P.*).
Stations with the highest values of the index of Potential Toxicity (T.P.).

Stazione	T.P.	Descrizione
UD10	4,7	Gonars, Ontagnano. Avvallamento colmato adibito a deposito di rottami.
UD54	4,7	Pozzuolo del Friuli, Cargnacco. Industria siderurgica, ex fonderia, e deposito di rottami.
GO2	4,6	Romans d'Isonzo. Ex cava di argilla colmata da rifiuti.
UD57	4,1	Pozzuolo del Friuli. Discarica dismessa da molti anni.
UD60	4,1	Bertiolo. Discarica comunale per inerti attualmente in uso.
UD9	3,8	Ontagnano, Gonars. Due cave adibite a discariche abusive.
UD8	3,8	Vieris, Castions di Strada. Ex cava di ghiaia in via di riempimento con terra ed immondizie.
UD24	3,3	S. Vito al Torre, Crauglio. Zona agricola.
UD26	3,3	Tavagnacco, Brisons. Discarica dismessa da 10 anni.
UD31	3,2	S. Giorgio di Nogaro, Porto Nogaro. Industria petrolifera con sospetta contaminazione da idrocarburi.
GO28	3,2	Monfalcone. Presso la centrale termoelettrica dell'E.N.E.L.
GO1	3,1	Romans d'Isonzo, Casa Rossa. Cava con impianto di lavorazione ed ex cava riempita.
UD18	3,0	Mortegliano, Masarottis. Zona agricola.

namento da Cromo. La carta della tossicità potenziale (Fig. 27) indica due zone a maggiore rischio-salute: la porzione centro-occidentale della Provincia, ed il Monfalconese. Tre stazioni presentano indici di tossicità potenziale elevati (Tab. 11).

La Fig. 28 rappresenta la sovrapposizione delle carte degli indici sintetici di naturalità e di alterazione di Fig. 24 e Fig. 25, con intervalli differenti per facilitare la comprensione. In Fig. 28 si evidenziano quattro tipi di situazione ambientale diversi:

1) Bassa naturalità e presenza di fenomeni di alterazione: si tratta della situazione più compromessa, che riguarda singole stazioni in Provincia di Udine;

2) Alta naturalità e contemporanea presenza di fenomeni di alterazione: questa situazione suggerisce l'esistenza di singole fonti inquinanti, specifiche per alcuni metalli, in una situazione altrimenti vicina alla naturalità; essa interessa soprattutto la parte meridionale della provincia di Udine, e parti di quella di Gorizia;

3) Bassa naturalità e contemporanea assenza di fenomeni di alterazione: questa situazione individua aree a rischio-potenziale, in cui un aumento

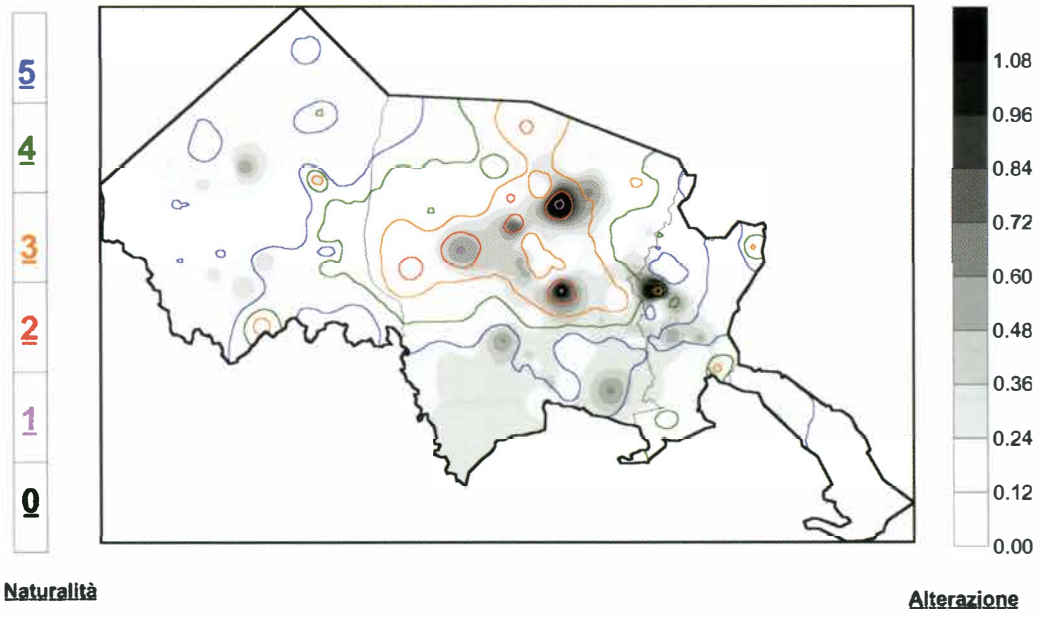

Fig. 28 - Carta degli indici sintetici di naturalità/alterazione (v. testo).
Map of the synthetic indices of environmental naturality/alteration (see text).

delle emissioni può facilmente provocare fenomeni di alterazione. Essa è limitata ad alcuni punti in Provincia di Udine, contigui a quelli con una situazione di tipo 1);

4) Alta naturalità senza fenomeni di alterazione: è la situazione migliore, e riguarda buona parte della Provincia di Pordenone.

Nel complesso, la parte centrale della Provincia di Udine mostra una prevalenza delle situazioni 1) e 2); in particolare, la presenza di alcuni punti con situazione di tipo 2) alla periferia dell'area interessata dai maggiori fenomeni di alterazione, suggerisce che questi ultimi abbiano tendenze espansive.

Conclusioni

Uno dei principali problemi nell'utilizzo di tecniche di bioaccumulo riguarda la densità dei punti di misura. Negli studi di bioindicazione tramite licheni è spesso accettabile una densità relativamente bassa (Nimis 1999), in quanto questi organismi sono sensibili all'azione di sostanze fitotossiche gassose con ampi patterns diffusionali in atmosfera (SO_2 e NO_x). Al contrario, la diffusione ed il trasporto in atmosfera della maggior parte dei metalli in traccia di origine antropica dipendono dalle dimensioni del particellato e dall'altezza dal suolo delle fonti emittenti, e spesso interessano aree ristrette rispetto all'ubicazione delle fonti emittenti. La scelta di un numero limitato di stazioni localizzate casualmente su vaste aree non è quindi sempre adeguata per evidenziare fenomeni di inquinamento puntiforme. In questo studio, tuttavia, le presunte fonti di inquinamento (per lo più discariche) non presuppongono importanti processi di diffusione in atmosfera, ed il campionamento è stato limitato ad una lista di stazioni potenzialmente «a rischio», precedentemente individuate dalla Regione Friuli-Venezia Giulia. Ciò comporta importanti differenze con analoghi studi sinora condotti in Italia, di cui va tenuto conto nella valutazione dei risultati.

I risultati indicano l'area a sud di Udine come quella con la maggiore alterazione ambientale, ed individuano un numero limitato di stazioni «a rischio» per singoli metalli, su cui dovrebbero essere indirizzati gli sforzi per il monitoraggio strumentale dell'inquinamento.

Appendice

Localizzazione e breve descrizione delle stazioni

1 (**Ud2**): Pradamano, località Laipacco. Discarica di I cat. con probabili smaltimenti abusivi. 2 (**Ud3**): Buttrio, Madonna di Lussaria. Area con presunta contaminazione da vernici e solventi. 3 (**Ud5**): Precenicco, ansa del fiume Stella sotto inchiesta giudiziaria. 4 (**Ud6**): Torviscosa. Zona industriale, inquinamento da Hg nella darsena del canale Banduzzi. 5 (**Ud8**): Castions di Strada, Vieris, presso una azienda cerealicola. 6 (**Ud9**): Gonars, Ontognano. Due cave adibite a discariche abusive. 7 (**Ud10**): Gonars, Ontognano. Avvallamento adibito a deposito di rottami. 8 (**Ud11**): Gonars. Accorpamento di due discariche di inerti. 9 (**Ud12**): Gonars. Cava di ghiaia. 10 (**Ud13**): Boscat, Castions di Strada. Ex discarica di inerti, ora laghetto di risorgiva con immondizie sommerse. 11 (**Ud15**): Mortegliano. Discarica probabilmente di rifiuti solidi urbani. 12 (**Ud16**): Mortegliano, Lavariano, prossimità dell'area urbana. 13 (**Ud17**): Mortegliano, Bassa di Prato. Discarica di I cat. 14 (**Ud18**): Mortegliano, Masarottis, presso campi di mais. 15 (**Ud20**): Bicinicco, Vieris. Discarica di inerti. 16 (**Ud21**): Bicinicco, molino della Morchesa. Deposito di terra da scavo. 17 (**Ud22**): Santa Maria la Longa, Bicinicco di Sotto. Discarica recintata, probabilmente in disuso. 18 (**Ud23**): Santa Maria la Longa, Santo Stefano Udinese, in prossimità di campi coltivati. 19 (**Ud24**): S. Vito al Torre, Crauglio, in prossimità di campi coltivati. 20 (**Ud25**): S. Vito al Torre, Pras. Piccola discarica tra vigneti. 21 (**Ud26**): Tavagnacco, Brisions. Discarica dismessa da 10 anni. 22 (**Ud27**): Premariacco, Azzano. Deposito di morchie di verniciatura. 23 (**Ud28**): Manzano, S. Lorenzo. Deposito di morchie di verniciatura ricoperta da coltivazioni. 24 (**Ud29**): Corno di Rosazzo, Cascina Rinaldi. Ex cava di ghiaia adibita a discarica di I cat., morchie di verniciatura. 25 (**Ud30**): Porto Nogaro, S. Giorgio di Nogaro. Zona industriale, acciaieria. 26 (**Ud31**): Porto Nogaro, S. Giorgio di Nogaro. Industria petrolifera con sospetta contaminazione da idrocarburi. 27 (**Ud32**): Porto Nogaro, S. Giorgio di Nogaro. Industria siderurgica, presunta contaminazione da cromo e solventi. 28 (**Ud33**): Idrovora Planais, S. Giorgio di Nogaro. Conceria con adiacente discarica R.S.U. dismessa. 29 (**Ud34**): S. Giorgio di Nogaro, Torviscosa, in prossimità del fiume Corno. Presunta contaminazione da Hg. 30 (**Ud35**): Torviscosa, presso fiume Aussa. Presunta contaminazione da Hg. 31 (**Ud54**): Pozzuolo del Friuli, Cargnacco. Industria siderurgica con deposito di rottami di forno. 32 (**Ud55**): Pozzuolo del Friuli, Zugliano. Area di ex concerie. 33 (**Ud56**): Pozzuolo del Friuli, in prossimità di campi di mais. 34 (**Ud57**): Pozzuolo del Friuli. Discarica dismessa da molti anni. 35 (**Ud59**): Campoformido, Une. Deposito abusivo di rifiuti industriali. 36 (**Ud60**): Bertiolo. Discarica comunale per inerti. 37 (**Ud301**): San Giorgio di Nogaro. Zona industriale. 38 (**Ud302**): Aquileia, presso una strada secondaria poco trafficata. 39 (**Ud303**): Cervignano del Friuli, Scodovacca, in prossimità di una strada poco trafficata. 40 (**Ud304**): Porpetto, presso il campo sportivo. 41 (**Ud305**): Paradiso. Strada poco trafficata. 42 (**Ud306**): Pocenia, in prossimità del giardino pubblico. 43 (**Ud307**): Ariis, presso una strada poco trafficata. 44 (**Ud308**): Sivigliano, in prossimità di una strada poco trafficata. 45 (**Ud309**): San Martino, presso campi di granturco. 46 (**Ud310**): Codroipo, presso una strada poco trafficata. 47 (**Ud311**): Beano, presso il campo sportivo. 48 (**Ud312**): Sedegliano, in prossimità di una strada poco trafficata. 49 (**Ud313**): Grions, in prossimità di una strada poco trafficata. 50 (**Ud314**): San Vito di Fagagna, in prossimità di una strada poco trafficata. 51 (**Ud315**): Colloredo di Prato, presso la strada comunale. 52 (**Ud316**): Basiliano, in prossimità di una strada poco trafficata. 53-58 (**F1**): Firmano. Sette discariche sia attive, sia esaurite, sia in fase di allestimento. 59 (**Pn1**): Fontanafredda. Discarica di II categoria tipo B. Zona industriale. 60 (**Pn2**): Prata di Pordenone. Mobilificio con interramento di bidoni. 61: (**Pn3**): S. Giorgio della Richinvelda. Discarica. 62 (**Pn4**): Fontana-

fredda. Discarica dismessa, ritombata con argilla, non impermeabilizzata sul fondo. 63 (**Pn6**): Aviano. Discarica dismessa non impermeabilizzata lateralmente. 64 (**Pn7**): Meduno. Prato incolto presso il centro abitato. 65 (**Pn8**): S. Giorgio della Richinvelda. Segnalazione di Cromo esavalente. 66 (**Pn20**): Cavasso Nuovo. Alveo fluviale. 67 (**Pn23**): Arba. Greto del torrente Meduna. Vegetazione lichenica scarsa. 68 (**Pn24**): Arba. Greto del torrente Colvera. Vegetazione lichenica scarsa. 69 (**Pn25**): Vivaro. Rifiuti abbandonati lungo il greto del torrente Meduna. Vegetazione lichenica scarsa. 70 (**Pn27**): Spilimbergo. Guado di Tauriano. Rifiuti abbandonati sulla sponda del torrente Meduna. 71 (**Pn28**): Spilimbergo. Greto del fiume Tagliamento. Smaltimento di rifiuti lungo il greto. 72 (**Pn30**): Montereale Valcellina. Campi incolti. 73 (**Pn33**): Fontanafredda, Vigonovo. Tre discariche presso campi di mais. Vegetazione lichenica scarsa. 74 (**Pn34**): Fontanafredda. Campi di mais presso la zona residenziale periferica. 75 (**Pn35**): Fontanafredda, Laghi di Guarnieri. Due discariche adiacenti. 76 (**Pn36**): Fontanafredda, Villadolt, presso la zona residenziale. 77 (**Pn37**): Fontanafredda, Villadolt, presso campi di mais. 78 (**Pn38**): Fontanafredda, Brughiera Forcate, presso la periferia. 79 (**Pn39**): Fontanafredda, Brughiera Forcate, presso campi di mais. 80 (**Pn40**): Fontanafredda, Ranzano, presso campi di mais. 81 (**Pn41**): Fontanafredda, Sorgenti Orzaia, presso campi incolti. 82 (**Pn42**): Fontanafredda, C. della Gaspera, presso campi di mais. 83 (**Pn43**): Fontanafredda, Ranzano, presso campi incolti. 84 (**Pn44**): Fontanafredda, Ranzano presso campi incolti. 85 (**Pn45**): Fontanafredda, Nave, presso campi incolti. 86 (**Pn46**): Fontanafredda, S. Antonio, lungo il greto del torrente Livenza. 87 (**Pn47**): S. Giogio alla Richinvelda, presso campi di mais. 88 (**Pn48**): Roveredo in Piano, Tornielli. Discarica dismessa con probabili rifiuti industriali, presso campi coltivati. 89 (**Pn49**): Roveredo in Piano, Reghenasse. Discarica dismessa tra campi incolti. 90 (**Pn50**): Pordenone. Discarica parzialmente dismessa con fuoriuscita di biogas. 91 (**Pn51**): Cordenons, Croce del Venchiaruzzo. Discarica dismessa presso il torrente Cellina. 92 (**Pn101**): Zoppola, presso una strada secondaria scarsamente trafficata. 93 (**Pn102**): Arzene, presso la strada Arzene-Casarsa. 94 (**Pn103**): Marzinis, Villanova, viale sterrato tra i campi. 95 (**Pn104**): Fiume Veneto, periferia località Tavella. 96 (**Pn105**): San Vito, presso la zona industriale Ponte Rossa. 97 (**Pn106**): San Giovanni, in zona verde presso la chiesa. 98 (**Pn107**): Casarsa, presso la Pontebbana. 99 (**Pn108**): San Vito, presso la strada poco trafficata che conduce a Prodolone. 100 (**Pn109**): Cordovado, periferia. 101 (**Pn110**): Sesto al Reghena, periferia. 102 (**Pn111**): Chions, viale alberato poco trafficato. 103 (**Pn112**): Taiedo, presso la strada scarsamente trafficata. 104 (**Pn113**): Tiezzo, presso la strada che conduce ad Azzano Decimo. 105 (**Pn114**): San Quirino, presso la strada poco trafficata che conduce a San Foca. 106 (**Pn115**): Pasiano, periferia in prossimità della zona industriale. 107 (**Pn116**): Tamai, in prossimità del centro abitato. 108 (**Pn117**): Brugnera, periferia. 109 (**Pn118**): Vallenoncello, in prossimità del parcheggio della chiesa. 110 (**Pn119**): Cordenons, in prossimità di una strada sterrata nei magredi. 111 (**Pn120**): In prossimità della strada tra Cordenons e Fiume Veneto. 112 (**Go1**): Romans d'Isonzo, Casa Rossa. Cava con impianto di lavorazione. 113 (**Go2**): Romans d'Isonzo. Ex cava colmata da rifiuti in prossimità del torrente Versa. 114 (**Go3**): Romans d'Isonzo. Ex cave presso la zona industriale. 115 (**Go4**): Romans d'Isonzo. Discarica dismessa, non impermeabilizzata, con fanghi contenenti Cromo esavalente e Cianuri. 116 (**G05**): Mariano del Friuli, località Longorucis. Discarica di prima categoria. 117 (**Go9**): Farra d'Isonzo, Campi S. Pelagio. Ex cava di ghiaia tra campi incolti. 118 (**Go10**): Gradisca d'Isonzo, Borgo Trevisan. Discarica abusiva colmata da rifiuti. 119 (**Go11**): Cormons. Discarica abusiva. 120 (**Go12**): Cormons. Discarica di II cat. tipo A, parzialmente ritombata. 121 (**Go13**): Angoris, Cormons. Discarica di I cat. 122 (**Go14**): Angoris, Cormons. Discarica abusiva colmata da rifiuti. 123 (**Go15**): Cormons, Colle dei Lupi. Discarica parzialmente ritombata. 124 (**Go16**): Cormons, Borgnano. Discarica tra campi incolti. 125 (**Go17**): Romans d'Isonzo. Inquinamento da Cromo esavalente. 126 (**Go20**): Staranzano, Ronchi dei Legionari, presso una strada sterrata. 127 (**Go21**): Staranzano, Ronchi dei Legionari, presso una strada poco trafficata. 128 (**Go22**): Ronchi dei Legionari, Le Giare. Discarica colmata tra campi incolti. 129 (**Go23**): Ronchi dei Legionari. Rifiuti abbandonati lungo il margine stradale. 130 (**Go24**): Ronchi dei Legionari. Rifiuti abbandonati lungo il margine stradale. 131 (**Go25**): Ronchi dei Legionari. Rifiuti abbandonati lungo il margine stradale. 132 (**Go26**): Ronchi dei Legionari, Salita Doberdò. Rifiuti abbandonati lungo il margine stradale. 133 (**Go27**): Ronchi dei Legionari, Soleschiano. Discarica comunale. 134 (**Go28**): Monfalcone, in prossimità della centrale termoelettrica dell'ENEL. 135 (**Go29**): Villesse. Discarica ritombata parzialmente in prossimità dell'area industriale. 136 (**Go30**): Mochetta. Discarica di II cat. tipo A con rifiuti abusivi al suo esterno. 137 (**Go31**): Savogna d'Isonzo, Rupa. Discarica abusiva. 138 (**Go32**): Savogna d'Isonzo, San Michele del Carso. 139 (**Go44**): Scriò, in prossimità di una strada poco trafficata. 140 (**Go64**): Moraro, in prossimità di una strada poco trafficata. 141 (**Go66**): Capriva, presso la statale. 142 (**Go70**): Fornaci. Rifiuti abbandonati presso il margine stradale. 143 (**Go74**): Valerisce, S. Floriano del Collio, in prossimità di una strada poco trafficata. 144 (**Go84**): Gorizia. Rifiuti abbandonati lungo il margine stradale. 145 (**Go86**): Solcano. Discarica di materiale inerte. 146 (**Go87**): Lucinico, in periferia presso una strada poco trafficata. 147 (**Go89**): Lucinico. Sito con rifiuti abbandonati. 148 (**G095**): Mossa, in prossimità di una strada poco trafficata. 149 (**Go207**): Grado, Isola Morosini, in prossimità di una strada poco trafficata. 150 (**Go208**): Grado, Fossalon, presso una zona agricola. 151 (**Go209**): Grado, in prossimità di una strada poco trafficata. 152 (**Go210**): Grado, in prossimità della strada principale. 153 (**Ts1**): Duino Aurisina (Ts), S. Giovanni al Timavo, in prossimità di una cartiera. 154 (**Ts5**): Trebiciano (Ts). Discarica colmata. 155 (**Ts6**): Muggia (Ts), Aquilinia, in prossimità della zona industriale.

Riassunto

Questo lavoro è basato su misure delle concentrazioni di 16 metalli nelle parti periferiche dei talli del lichene epifita *Xanthoria parietina,* raccolto su alberi con caratteristiche standard in 155 stazioni site nella parte meridionale della Regione-Friuli-Venezia Giulia. Le stazioni corrispondono per lo più a siti considerati contaminati da rilasci incidentali o dolosi di sostanze pericolose, compresi nel Piano Regionale di Bonifica. L'interpretazione dei dati relativi ad ogni singolo metallo si basa su due carte che mostrano, rispettivamente, i patterns geografici e la magnitudo di eventuali deviazioni da condizioni di background. Queste ultime si basano su scale a sette classi, costruite analizzando le distribuzioni di centinaia di misure delle concentrazioni di metalli in licheni foliosi epifiti d'Italia. I risultati sono sintetizzati con carte basate su diversi indici sintetici, tra cui un indice di naturalità (che indica il numero di metalli con concentrazioni entro o vicine al background), un indice di alterazione ambientale (che riflette il numero di metalli con forti deviazioni dalla norma), ed un indice di tossicità potenziale (derivato da quello di alterazione, pesando i vari metalli secondo la loro tossicità ambientale). La parte centro-meridionale della Provincia di Udine è quella interessata ai maggiori fenomeni di alterazione, mentre in alcune altre stazioni si hanno fenomeni di alterazione rilevanti

per singoli metalli. Questi siti vengono suggeriti come punti a rischio potenziale da sottoporre eventualmente a monitoraggio strumentale.

Ringraziamenti

Questo studio è stato svolto nell'ambito di una convenzione tra la Regione Friuli-Venezia Giulia, Direzione Regionale dell'Ambiente, Servizio della Disciplina e per lo Smaltimento dei Rifiuti, ed il Dipartimento di Biologia dell'Università di Trieste. La sua pubblicazione è stata finanaziata dal progetto M.U.R.S.T. «*Crittogame come Biomonitors in Ecosistemi Terrestri*». Si ringraziano la Direzione Regionale della Pianificazione Territoriale, Servizio per la Cartografia, della Regione Friuli-Venezia Giulia per le elaborazioni cartografiche di base, il Prof. R. Bargagli (Università di Siena) per le determinazioni analitiche dei metalli, la Sig.na S. Baldo (Trieste) per l'assistenza nel campionamento ed elaborazione dati, ed il Dr. M. Tretiach (Trieste) per le note critiche al manoscritto.

Bibliografia

Adriano D. C., 1986. *Trace Elements in the Terrestrial Enviroment*. Springer, New York, 533 pp.

Bargagli R., 1990. *Assessment of metal air pollution by epiphytic lichens: the incidence of crustal materials and of the possible uptake from substrate barks*. Studia Geobot., 10: 97-103.

Bargagli R., 1998. *Trace Elements in Terrestrial Plants. An Ecophysiological Approach to Biomonitoring and Biorecovery*. Springer, Berlin, 324 pp.

Bargagli R., Iosco F. P. & C. Leonzio, 1985. *Monitoraggio di elementi in tracce mediante licheni epifiti*. Inquinamento, 2: 33-37.

Bargagli R., Nimis P. L. & F. Monaci, 1997. *Lichen biomonitoring of trace element deposition in urban, industrial and reference areas of Italy*. J. Trace Elem. Med. Biol., 11: 173-175.

Barkman J. J., 1958. *Phytosociology and Ecology of Cryptogamic Epiphytes*. 2 voll. Van Gorcum & Co., Assen, 628 pp.

Caglioti L., 1979. *I due volti della chimica. Benefici e rischi*. EST Mondadori, Milano.

Dall'Aglio M., 1988. *Mercurio e piombo: circolazione, destino ed effetti sulla salute*. Le Scienze, Quaderni, 40: 75-80.

Gasparo D., Castello M. & R. Bargagli, 1989. *Biomonitoraggio dell'inquinamento tramite licheni. Studio presso un inceneritore (Macerata)*. Studia Geobot., 9: 153-233.

Floccia M., Gisotti G. & M. Sanna, 1985. *Dizionario dell'inquinamento: cause, effetti, rimedi e normativa*. Ediz. NIS: 206-210.

Hawksworth D. L. & L. Rose, 1970. *Qualitative scaling for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens*. Nature, 227: 145-148.

Krauskopf K.B., 1979. *Introduction to Geochemistry*. 2nd ed. McGraw-Hill, New York, 617 pp.

Lee D.H., 1972. *Metallic contaminants and human health*. Academic Press, New York.

Morandi R., 1998. *Monitoraggio dell' inquinamento atmosferico mediante l'uso dei licheni*. - In: Ambiente. Il Veneto verso il 2000. Giunta Regionale del Veneto: 187-206.

Nimis P. L., 1990. *Air Quality Indicators and Indices. The use of plants as bioindicators and biomonitors of air pollution*. In: A.G. Colombo & G. Premazzi (eds.), Proc. Workshop on Indicators and Indices, JRC Ispra. EUR 13060 EN: 93-126.

Nimis P. L., 1991. *Data Quality in Environmental Sciences and the Biomonitoring of Air Pollution*. Giorn. Bot. Ital., 125, 3: 126-135.

Nimis P. L., 1993. *The Lichens of Italy. An Annotated Catalogue*. Museo Regionale di Scienze Naturali di Torino, Monografie, XII, 897 pp.

Nimis P. L., 1999a. *Il biomonitoraggio della «qualità dell'aria» in Italia: problemi e prospettive*. Atti del Workshop «Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale». Roma, 26-27 novembre 1998. ANPA - Serie Atti (in stampa).

Nimis P. L. (ed.) 1999b. *Forum-discussion: the future of Bioindication by lichens*. International Lichenological Newsletter, 32, 1: 16-21.

Nimis P. L. & R. Bargagli, 1999. *Linee-guida per l'utilizzo di licheni epifiti come bioaccumulatori di metalli in traccia*. Atti del Workshop «Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale». Roma, 26-27 novembre 1998. ANPA - Serie Atti (in stampa).

Nimis P. L., Bargagli R., Benedet A., Castello M., Ciccarelli A., Gasparo D., Lausi D., Lazzarin G., Olivieri S. & M. Tretiach, 1992. *I licheni come bioindicatori di inquinamento atmosferico nell'area di Schio-Thiene-Breganze (Vicenza)*. Atti Mus. Civ. St. Nat. Verona, 16: 1-154.

Nimis P. L., Castello M. & M. Perotti, 1993. *Lichens as bioindicators of heavy metal pollution: a case study at La Spezia (N Italy)*. In: B. Markert (ed.), Plants as Biomonitors. VCH Publishers: 265-284.

Nimis P. L., Lazzarin A. & G, & D. Gasparo 1996. *Biomonitoring of SO_2 and metal pollution with lichens in the Province of Treviso (NE Italy)*. In: R. Azzoni *et al.* (eds.), *Dalla Tossicologia alla Ecotossicologia*, Pordenone: 9-27.

Puckett K. J., 1988. *Bryophytes and lichens as monitors of metal deposition*. Bibl. Lichenol., 30: 231-267.

Stoeppler M. & F. Backhaus, 1978. *Pretreatment studies with biological and environmental materials. I-Systems for pressured multi-sample decomposition*. Fresenius Z. Anal. Chem. 291: 116-120.

Tuominen Y. & T. Yaakkola, 1973. *Adsorption and accumulation of elements*. In: Ahmadjan V. & M. H. Hale (eds.), *The Lichens*. Academic Press, Cambridge: 185-223.

Underwood, E. J., 1977. *Trace elements in human and animal nutrition*. Academic Press, New York, 545 pp.

Wohlbier W. G. L. & A. Lindner, 1959. *Der Gehalt der Rinden verschiedenen Baumarten an Mengen-und Spurenelementen*. Z. Jagdwiss.: 5-55.

Received April 9, 1999
Accepted June 12, 1999