

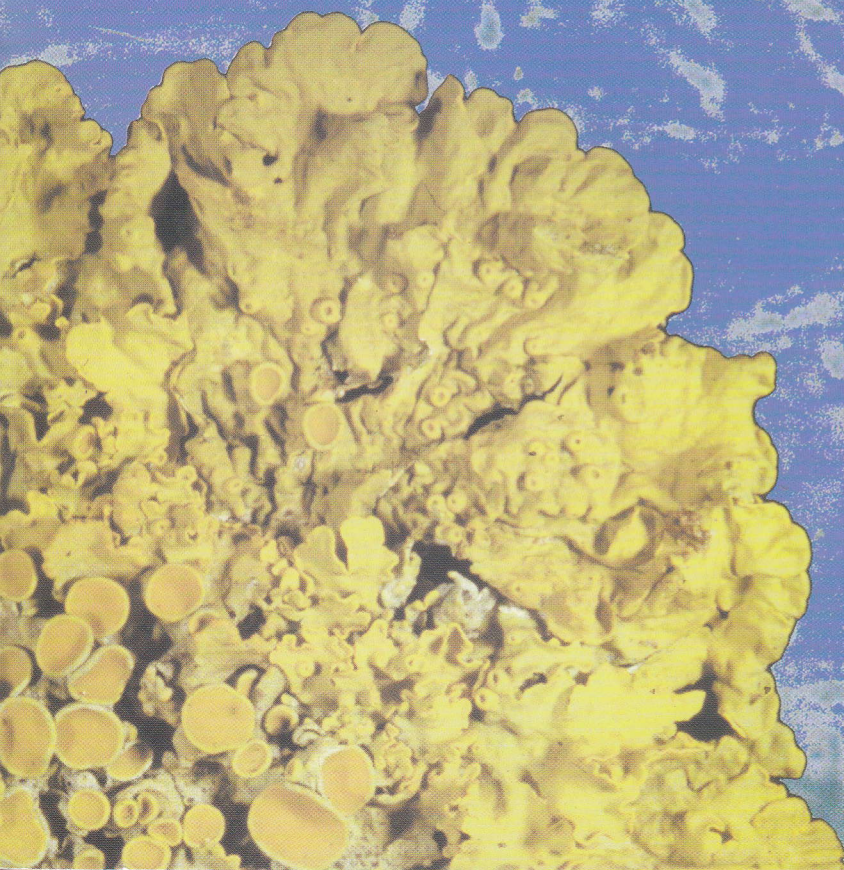
PROVINCIA DI PORDENONE
ASSESSORATO ALL'AMBIENTE

UNIVERSITÀ DI TRIESTE
DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA

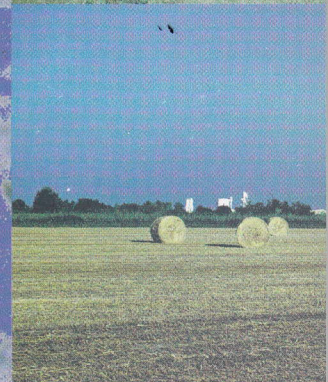
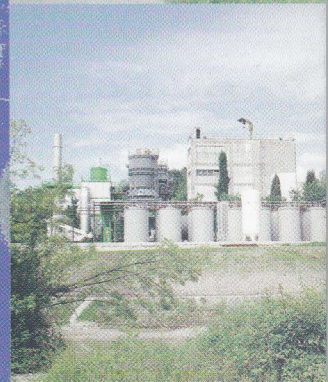
Mauro Tretiach, Laurence Baruffo

DEPOSIZIONE DI METALLI NELLA PEDEMONTANA PORDENONESE

UNO STUDIO BASATO SUI LICHENI COME BIOACCUMULATORI



Pordenone 2001



Mauro Tretiach

Biologo, è ricercatore presso il Dipartimento di Biologia dell'Università di Trieste, dove svolge ricerche di sistematica e di ecofisiologia vegetale. E' autore di una settantina di pubblicazioni scientifiche comparse su riviste nazionali e internazionali del settore.

Laurence Baruffo

Biologo, è collaboratore a contratto del Dipartimento di Biologia dell'Università di Trieste, dove svolge ricerche sugli scambi gassosi dei licheni e sui loro meccanismi di accumulo.

PROVINCIA DI PORDENONE
ASSESSORATO ALL'AMBIENTE

UNIVERSITÀ DI TRIESTE
DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA

Mauro Tretiach, Laurence Baruffo

**DEPOSIZIONE DI METALLI
NELLA PEDEMONTANA PORDENONESE**

UNO STUDIO BASATO SUI LICHENI COME BIOACCUMULATORI



Pordenone 2001

1950

1950

OSTRACODI IN ITALIA
NELLA FEDERAZIONE ITALIANA

1950

Nel pieno rispetto dell'ordinamento ambientale, nazionale e comunitario, la Provincia di Pordenone si è posta come prioritario l'obiettivo dell'adozione di misure di prevenzione, salvaguardia, e controllo del patrimonio naturalistico e della salute dei cittadini.

La presente pubblicazione riguarda la qualità dell'aria in alcune zone della nostra provincia. Questa analisi, condotta con il metodo del monitoraggio dell'inquinamento da metalli che utilizza i licheni quali bioaccumulatori, è complementare ad uno studio analogo realizzato dalla Regione Friuli - Venezia Giulia.

Il nostro studio è stato realizzato sempre dal Dipartimento di Biologia dell'Università di Trieste che, tra l'altro, è il promotore della normalizzazione e standardizzazione delle tecniche di biomonitoraggio adottate nell'ambito delle attività svolte dall'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (A.N.P.A.).

Si è così completato l'esame del nostro territorio relativamente ad aree soggette a specifiche attività antropiche.

Vale sottolineare che la priorità posta riguarda, da un lato, l'indagine su aree interessate da emissioni di cementerie e fornaci attive da molti anni e, dall'altro, l'analisi dell'ambiente in aree, come Aviano e Spilimbergo, dove due distinte attività d'incenerimento di rifiuti sono in fase di avvio e in costruzione.

Lo studio offre così una base di conoscenze che permetterà di rilevare in futuro l'evoluzione della qualità ambientale e di ricercare le possibili cause di eventuale degrado al fine di potervi porre rimedio.

In quest'ottica il presente studio offre un'importante strumento di riferimento cui misurarsi per la stessa sostenibilità dello sviluppo del nostro territorio.

*L'ASSESSORE ALL'AMBIENTE
dott. Fernando Padelletti*

*IL PRESIDENTE
dott. Elio De Anna*

Pordenone, 7 marzo 2001

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or title.

Second block of faint, illegible text.

Third block of faint, illegible text.

Fourth block of faint, illegible text.

Fifth block of faint, illegible text.

Sixth block of faint, illegible text.

Seventh block of faint, illegible text.

Eighth block of faint, illegible text.

Ninth block of faint, illegible text.

Tenth block of faint, illegible text.

Eleventh block of faint, illegible text at the bottom of the page.

INDICE

Introduzione	Pag.	7
Inserto n. 1 - Cosa sono i licheni	»	8
La zona di indagine	»	9
Il clima della zona d'indagine	»	15
Dati e metodi	»	17
Inserto n. 2 - Il lichene <i>Xanthoria parietina</i>	»	19
Inserto n. 3 - Fonti di emissione di metalli nell'ambiente	»	19
Inserto n. 4 - Perché i licheni sono degli ottimi bioaccumulatori di metalli	»	21
Inserto n. 5 - Che cos'è e come si deve leggere la scala di naturalità- alterazione	»	24
Risultati	»	25
Alluminio	»	32
Ferro	»	34
Nichel	»	36
Rame	»	38
Manganese	»	40
Zinco	»	42
Calcio	»	44
Cromo	»	46
Mercurio	»	48
Cadmio	»	50
Uno sguardo d'insieme sulla zona d'indagine	»	52
Conclusioni	»	61
Ringraziamenti	»	62
Riassunto	»	62
Abstract	»	63
Bibliografia	»	63

INDEX

1 Introduction

2 Chapter 1: Case study 1

3 Chapter 2: Case study 2

4 Chapter 3: Case study 3

5 Chapter 4: Case study 4

6 Chapter 5: Case study 5

7 Chapter 6: Case study 6

8 Chapter 7: Case study 7

9 Chapter 8: Case study 8

10 Chapter 9: Case study 9

11 Chapter 10: Case study 10

12 Chapter 11: Case study 11

13 Chapter 12: Case study 12

14 Chapter 13: Case study 13

15 Chapter 14: Case study 14

16 Chapter 15: Case study 15

17 Chapter 16: Case study 16

18 Chapter 17: Case study 17

19 Chapter 18: Case study 18

20 Chapter 19: Case study 19

21 Chapter 20: Case study 20

22 Chapter 21: Case study 21

23 Chapter 22: Case study 22

24 Chapter 23: Case study 23

25 Chapter 24: Case study 24

26 Chapter 25: Case study 25

27 Chapter 26: Case study 26

28 Chapter 27: Case study 27

29 Chapter 28: Case study 28

30 Chapter 29: Case study 29

31 Chapter 30: Case study 30

32 Chapter 31: Case study 31

33 Chapter 32: Case study 32

34 Chapter 33: Case study 33

35 Chapter 34: Case study 34

36 Chapter 35: Case study 35

37 Chapter 36: Case study 36

38 Chapter 37: Case study 37

39 Chapter 38: Case study 38

40 Chapter 39: Case study 39

41 Chapter 40: Case study 40

42 Chapter 41: Case study 41

43 Chapter 42: Case study 42

44 Chapter 43: Case study 43

45 Chapter 44: Case study 44

46 Chapter 45: Case study 45

47 Chapter 46: Case study 46

48 Chapter 47: Case study 47

49 Chapter 48: Case study 48

50 Chapter 49: Case study 49

51 Chapter 50: Case study 50

52 Chapter 51: Case study 51

53 Chapter 52: Case study 52

54 Chapter 53: Case study 53

55 Chapter 54: Case study 54

56 Chapter 55: Case study 55

57 Chapter 56: Case study 56

58 Chapter 57: Case study 57

59 Chapter 58: Case study 58

60 Chapter 59: Case study 59

61 Chapter 60: Case study 60

62 Chapter 61: Case study 61

63 Chapter 62: Case study 62

64 Chapter 63: Case study 63

65 Chapter 64: Case study 64

66 Chapter 65: Case study 65

67 Chapter 66: Case study 66

68 Chapter 67: Case study 67

69 Chapter 68: Case study 68

70 Chapter 69: Case study 69

71 Chapter 70: Case study 70

72 Chapter 71: Case study 71

73 Chapter 72: Case study 72

74 Chapter 73: Case study 73

75 Chapter 74: Case study 74

76 Chapter 75: Case study 75

77 Chapter 76: Case study 76

78 Chapter 77: Case study 77

79 Chapter 78: Case study 78

80 Chapter 79: Case study 79

81 Chapter 80: Case study 80

82 Chapter 81: Case study 81

83 Chapter 82: Case study 82

84 Chapter 83: Case study 83

85 Chapter 84: Case study 84

86 Chapter 85: Case study 85

87 Chapter 86: Case study 86

88 Chapter 87: Case study 87

89 Chapter 88: Case study 88

90 Chapter 89: Case study 89

91 Chapter 90: Case study 90

92 Chapter 91: Case study 91

93 Chapter 92: Case study 92

94 Chapter 93: Case study 93

95 Chapter 94: Case study 94

96 Chapter 95: Case study 95

97 Chapter 96: Case study 96

98 Chapter 97: Case study 97

99 Chapter 98: Case study 98

100 Chapter 99: Case study 99

101 Chapter 100: Case study 100

INTRODUZIONE

In questo lavoro vengono presentati in forma divulgativa i risultati di uno studio commissionato nel marzo 1999 dall'Amministrazione Provinciale di Pordenone al Dipartimento di Biologia dell'Università di Trieste per il monitoraggio ambientale in sei zone campione della pedemontana pordenonese.

Gli obiettivi erano sostanzialmente due:

1) valutare se l'attività produttiva di alcuni grossi impianti industriali della pedemontana avesse causato il rilascio di metalli in traccia;

2) descrivere lo stato di fatto di due aree prima dell'entrata in funzione di due impianti di incenerimento, per poter verificare negli anni successivi gli effetti della loro attività sul territorio.

Per raggiungere questi obiettivi si è deciso di effettuare uno studio con i licheni, che sono degli ottimi accumulatori di metalli in traccia ampiamente utilizzati in studi di biomonitoraggio ambientale.

La metodica utilizzata in questo lavoro deriva da una sintesi di quanto proposto nei numerosi studi svolti in Italia e all'estero negli ultimi anni (per esempio Nimis *et al.* 1993, Bargagli 1988, 1995, 1998). Essa è stata ampiamente usata in Italia a partire dal 1987, sia su aree ristrette che su scala regionale, come nel caso dell'intera Regione del Veneto (Morandi 1998), ed è stata recentemente standardizzata (Nimis & Bargagli 1999) e adottata dall'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (A.N.P.A., vedi il sito web "www.sinanet.anpa.it").

Il limite principale di questa metodica è che essa non permette di stabilire una relazione univoca e quantitativa tra concentrazioni di metalli nei licheni e deposizioni di metalli su unità di superficie, principalmente a causa della assoluta scarsità di misure strumentali di deposizione di metalli in traccia nel

nostro Paese. I principali vantaggi sono d'altro canto la possibilità di identificare rapidamente, grazie ad un'alta densità di campionamento, eventuali fonti di emissione, e la possibilità di verificare i trend temporali dell'inquinamento, in seguito all'eventuale adozione di misure per la riduzione delle emissioni oppure in seguito all'entrata in funzione di nuovi processi produttivi.

In questo lavoro vengono illustrati i risultati relativi allo studio di bioaccumulo in tutte le sei zone. Cinque di esse sono contigue, per cui il riporto cartografico dei dati è stato fatto congiuntamente. La sesta zona aveva invece una superficie troppo limitata per permettere un riporto cartografico significativo dei risultati. I dati relativi a questa zona vengono riportati esclusivamente sotto forma tabellare.



Una delle 97 stazioni visitate nel corso dello studio.



Inserto n. 1 - Cosa sono i LICHENI

Sugli alberi è facile osservare macchie vivacemente colorate, che sono quasi sempre licheni. Molte persone credono che i licheni siano muschi. In effetti i licheni vivono molto spesso insieme ai muschi, ma sono organismi molto diversi, formati da funghi che vivono in simbiosi con alghe e/o cianobatteri. Il fungo è in genere un ascomicete, come il tartufo, o la morchella che raccogliamo nei prati, o quello che provoca il mal secco degli olmi. Le alghe sono di solito le stesse che si trovano sulle rocce o sui tronchi, dove formano patine verdastre o giallastre. Insieme, formano un qualcosa di assolutamente speciale: il lichene, appunto.

I licheni si trovano un po' dovunque, basta saperli cercare: nelle nostre zone si trovano comunemente non solo sui tronchi, ma anche sulle rocce, sui tetti, in zone prative quando la copertura erbacea è rada; in alta montagna possono formare ampie distese nella fascia al di sopra del limite degli alberi. Contrariamente a quanto crede molta gente, i licheni che crescono sulla scorza degli alberi (licheni epifiti) non causano alcun danno ai loro ospiti, in quanto essi vivono grazie agli zuccheri e loro derivati prodotti dalle alghe. Queste si riproducono all'interno del corpo del lichene (chiamato "tallo"), apparentemente sotto stretto controllo del fungo; si possono facilmente osservare con l'aiuto di una lente spezzando il tallo: si nota allora uno strato verde che è formato dalle cellule algali. Il tallo dei licheni può avere forma molto variabile: nelle forme più evolute, esso ha un aspetto foglioso (cioè simile ad una foglia) o fruticoso (come un piccolo arbusto molto ramificato).

I licheni vivono spesso in ambienti molto difficili, proibitivi per altre forme di vita. Hanno infatti un solo vero nemico: l'inquinamento causato dall'uomo.

LA ZONA D'INDAGINE

La presente indagine è stata condotta nelle sei zone della pedemontana pordenonese indicate in Fig. 1 con le lettere A-F. Esse sono situate intorno a singoli impianti industriali, identificati dall'Ufficio Ecologia della Provincia di Pordenone come possibili fonti inquinanti da metalli, come segue:



Fig. 1 - Distribuzione delle sei zone di studio (individuate dalle lettere A-F) nella pedemontana pordenonese; la posizione degli impianti è indicata dagli asterischi.

Zona A - Cementificio CEMENTIZILLO, Fanna (PN)

Questa zona è collocata immediatamente ai piedi dei primi contrafforti delle Prealpi Carniche (Fig. 1). Essa ospita diversi insediamenti industriali, un centro urbano di media grandezza (Maniago, c. 10.000 abitanti) con un'area industriale di grandi dimensioni subito a sud, e diversi abitati più piccoli (Fig. 2). A causa dell'asperità dei versanti montuosi, non è stato possibile circoscrivere il cementificio Cementizillo in maniera uniforme, per cui esso risulta piuttosto decentrato rispetto all'area di indagine. Questo impianto, situato nel territorio del comune di Fanna, sorge relativamente isolato all'interno di una zona piuttosto estesa con impianti a pioppo, e frammenti di bosco ad alto fusto o a ceduo, attraversata dalla strada statale n. 464 ("di Spilimbergo"), in genere molto trafficata.

Questa zona di indagine copre una superficie di 23,2 km²; vi sono state distribuite 13 stazioni di campionamento (densità di campionamento: 0,56 stazioni km⁻²); questo è stato effettuato nei giorni 28 e 29 settembre 1999.

Zona B - Cementificio UNICEM, Travesio (PN)

Il cementificio Unicem è collocato quasi al centro della zona di indagine (Fig. 3), in corrispondenza di un pianoro collocato a c. 200 m s.l.m. e parzialmente circoscritto da basse colline (altezza massima: 340 m s.l.m.) ricoperte da boschi con un buon grado di naturalità. Questa zona, che a est e a sud-est tocca l'incisura del letto del Tagliamento (Fig. 1), non ospita altri impianti industriali di grandi dimensioni, tranne lo stabilimento della Filatura S. Carlo presso Lestans, e un'industria di prodotti esplosivi nella parte sud-occidentale, che confina con la zona industriale

sopra Istrago.

La superficie totale della zona B è di 40,8 km². Vi sono state localizzate 19 stazioni di campionamento (0,46 stazioni km⁻²); questo è stato effettuato il 26 settembre 1999.

Zona C - Inceneritore MISTRAL, Spilimbergo (PN)

Questa zona (Fig. 4), che si presta egregiamente per uno studio di bioaccumulo, è centrata sulla zona industriale del Cosa, al cui limite meridionale sorge l'inceneritore Mistral, ed interessa gran parte del territorio comunale di Spilimbergo, che si caratterizza per numerosi insediamenti industriali e strade di intenso traffico. Tutta l'area non urbanizzata è occupata da colture agrarie (soia, mais, viti, frutteti, qualche prato stabile), eventualmente divise da filari di alberi ceduati. Al momento del campionamento l'inceneritore Mistral non era ancora funzionante, dopo una lunga serie di lavori di potenziamento.

La zona C ha una superficie totale di 34,7 km². In essa sono state localizzate 21 stazioni per il campionamento dei licheni (0,60 stazioni km⁻²), che sono stati raccolti nei giorni 23 e 24 maggio 1999.

Zona D - Inceneritore SNUA, Aviano (PN)

Come già preannunciato nel progetto di questa ricerca, la zona D era in assoluto la più problematica tra quelle scelte, a causa della scarsità di alberi adatti per il campionamento dei licheni fogliosi. Infatti i tronchi di *Robinia pseudacacia* presenti nelle siepi di confine dei campi sono molto spesso completamente coperti da edera oppure sono molto giovani, e la vegetazione lichenica non è ancora riuscita a svilupparsi; anche gli alberi isolati sono molto rari, mentre nelle aree verdi della zona industriale contermina all'impianto sono di gran lunga preponderan-

Deposizione di metalli nella pedemontana pordenonese

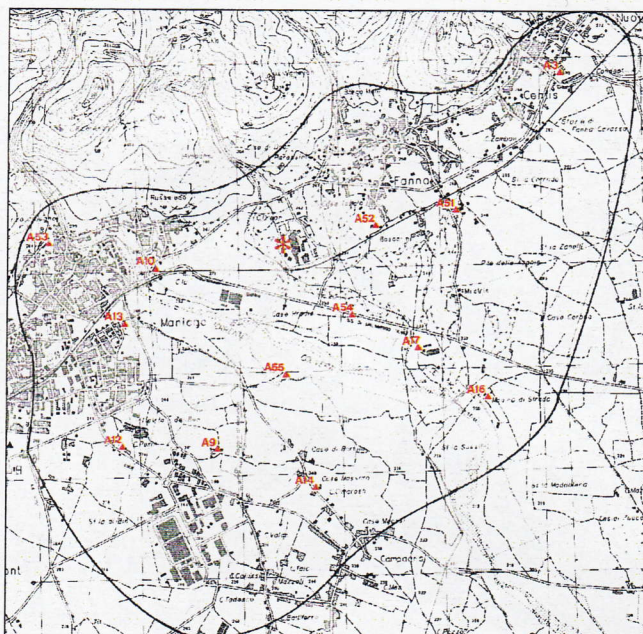


Fig. 2 - Zona di studio A. La posizione del cementificio Cementizillo (Fanna) è indicata da un asterisco, quella delle stazioni di campionamento da un triangolo.



Fig. 3 - Zona di studio B. La posizione del cementificio Unicem (Travesio) è indicata da un asterisco, quella delle stazioni di campionamento da un triangolo.

Deposizione di metalli nella pedemontana pordenonese

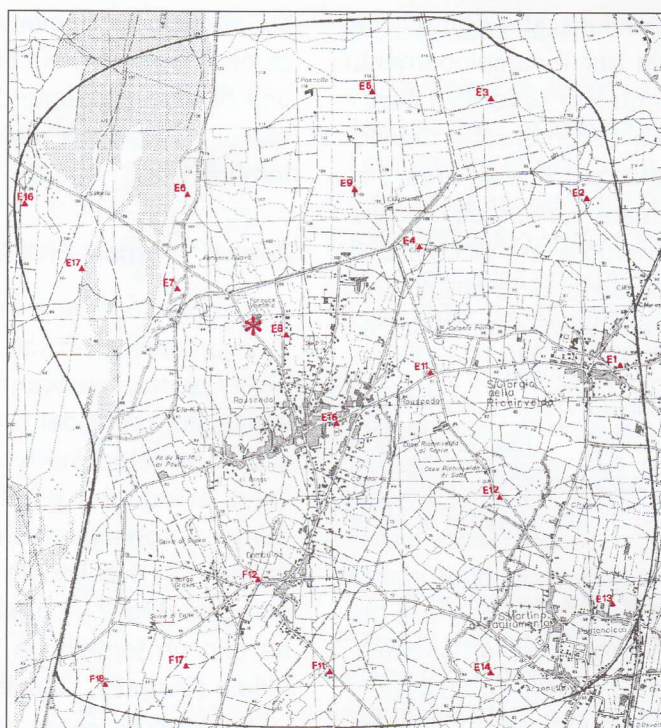


Fig. 6 - Zona di studio E. La posizione delle Fornaci Crovato (Rauscedo) è indicata da un asterisco, quella delle stazioni di campionamento da un triangolo.

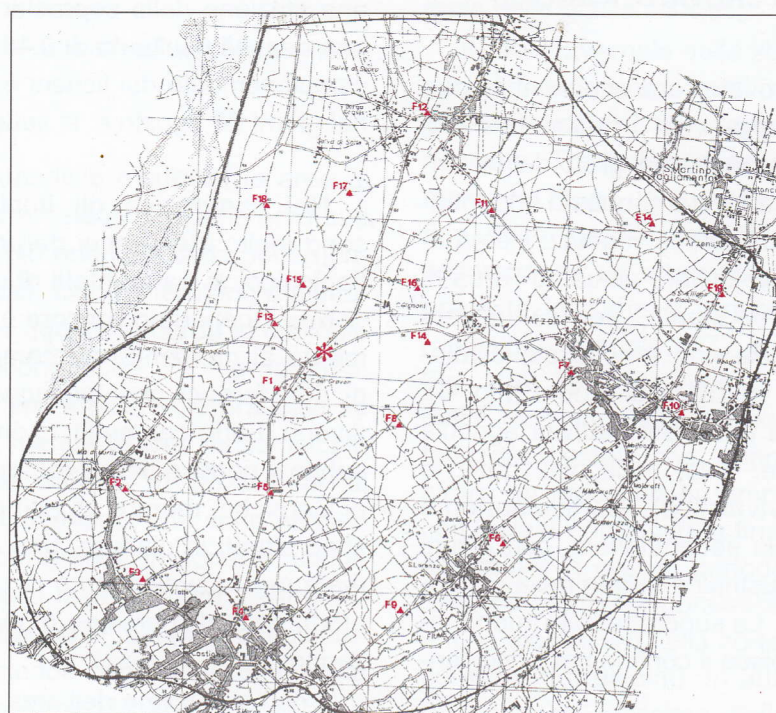


Fig. 7 - Zona di studio F. La posizione della Fornace Ermacora (Arzene) è indicata da un asterisco, quella delle stazioni di campionamento da un triangolo.

ti alberi esotici e/o conifere, che non offrono un substrato ottimale per il campionamento dei talli. Nonostante queste severe limitazioni, in considerazione dell'interesse manifestato dalla committenza per questa area, l'indagine è stata effettuata comunque, limitando però il campionamento a una piccola area (Fig. 5) dove sono presenti, oltre all'impianto di smaltimento rifiuti che verrà potenziato con la costruzione del nuovo inceneritore, una cava di ghiaia e, nella porzione a sud-ovest, alcuni impianti industriali. Tutta la zona è occupata da colture agrarie (soia, mais, viti, qualche prato stabile) divise da siepi di alberi ceduati e arbusti.

Questa zona copre una superficie di soli 6,5 km². Vi sono state localizzate con notevole difficoltà 9 stazioni (1,4 stazioni km⁻²) per la raccolta del materiale, che è stata effettuata nel periodo 2-11 settembre 1999.

Zona E - Fornaci CROVATO, Rauscedo (PN)

Le Fornaci Crovato sono situate immediatamente a nord-ovest dell'abitato di Rauscedo, in prossimità del greto del torrente Meduna. La presenza di questo imponente alveo con la sua scarsa vegetazione arborea ci ha indotto a limitare alquanto l'area di indagine verso occidente, per cui questo impianto industriale non è collocato esattamente al centro dell'area di studio (Fig. 6). Questa area è a prevalente attività agricola (principali colture: soia, mais, viti, qualche prato stabile, vivaistica), particolarmente nella porzione più settentrionale, con alcuni insediamenti industriali e militari nella porzione sud-orientale. La superstrada Pordenone-Sequals ne lambisce il confine nord-occidentale.

La zona E copre una superficie di 44,3 km². Vi sono state localizzate 17 stazioni, a

cui sono state aggiunte in sede di elaborazione 4 stazioni della sottostante area F, con una densità risultante di 0,47 stazioni km⁻². Il campionamento è stato effettuato il 12 settembre 1999.

Zona F - Fornaci ERMACORA, Arzene (PN)

L'impianto delle fornaci Ermacora è situato in un'area a prevalente uso agricolo, con alcuni piccoli insediamenti industriali, in prossimità del greto del Meduna; a causa della scarsa vegetazione arborea di questa parte, l'area di indagine è stata limitata verso occidente, e conseguentemente l'impianto industriale non è collocato al centro dell'area di indagine (Fig. 7). La parte meridionale confina con un territorio a forte vocazione industriale (Zoppola, Casarsa della Delizia).

La zona F copre una superficie di 42,0 km². Vi sono state localizzate 19 stazioni, a cui è stata aggiunta in sede di elaborazione una stazione della soprastante area E, con una densità risultante di 0,48 stazioni km⁻². Il campionamento dei licheni è stato effettuato nei giorni 26 agosto e 1° settembre 1999.

Nel complesso gli impianti industriali sono molto eterogenei da un punto di vista tipologico: si tratta infatti di due cementifici, di due inceneritori (ancora in fase di avviamento al momento del campionamento), e di due fornaci che impiegano combustibili diversi. I due cementifici sono inoltre situati subito a ridosso delle propaggini delle prealpi Carniche, mentre gli altri quattro impianti sono situati in pianura, una condizione ottimale per lo svolgimento di uno studio sugli effetti della dispersione di eventuali sostanze inquinanti.

Con l'esclusione dell'area D, relativamente isolata dalle altre zone in quanto situata sulla riva orografica destra del Cellina-

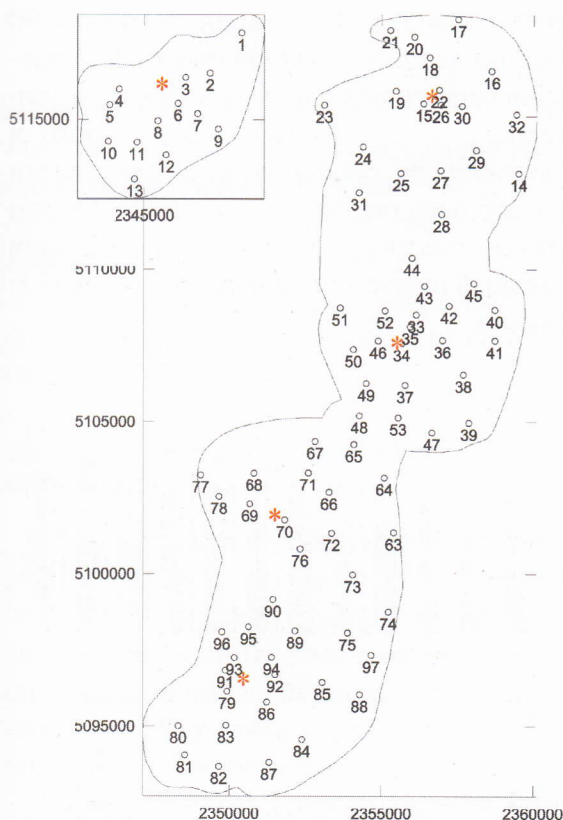


Fig. 8 - Distribuzione delle 88 stazioni nelle aree A, B, C, E ed F.

Meduna e di superficie modesta, le aree di indagine sono disposte in direzione nord-sud lungo il settore più orientale della pedemontana pordenonese. Questo territorio è piuttosto uniforme per quanto riguarda le tipologie di attività economiche e produttive. L'agricoltura, di tipo intensivo, è praticata su tutto il territorio, mentre le aree industriali più importanti sono situate in prossimità di Spilimbergo e di Maniago, che sono anche i centri abitativi più grandi. In considerazione di questi fatti, nella fase di riporto cartografico dei dati si è deciso di mappare congiuntamente queste cinque zone, che hanno una superficie totale di c. 185 km², su cui sono distribuite quindi 88 stazioni (Fig. 8), con una densità media di 0,48 stazioni km⁻².

Il clima della zona

Nell'area di indagine sono presenti solo due stazioni di rilevamento di dati climatici, Spilimbergo (132 m s.l.m.; stazione pluviometrica attiva nei periodi 1790-1792, 1794-1796, e dal 1920, Fig. 10A) e Aviano Aeroporto (159 m s.l.m.; stazione meteorologica dal 1951, Figg. 10B, 11) (Gentilli 1964). Il loro clima si caratterizza per una temperatura media compresa tra 11,5°C e 13,5°C (Fig. 9A) e precipitazioni generalmente elevate, tra 1400 e 2000 mm all'anno (Fig. 9B), con c. 100-110 giorni piovosi all'anno. Nell'insieme delle zone di studio considerate in questo lavoro le precipitazioni tendono generalmente ad aumentare da sud a nord (Fig. 9B), con un repentino aumento in corrispondenza dei primi contrafforti delle Prealpi (zone A e B). La zona più arida è l'alveo del Tagliamento con le sue scarpate fluviali, a causa della loro esposizione e del substrato fortemente drenante formato dalle ghiaie alluviali.

Il clima invernale della zona è di tipo temperato-freddo, con notti rigide, frequenti gelate in aperta campagna, e sporadiche nevicate. Tra la fine di febbraio e l'inizio di marzo ha luogo un aumento piuttosto repentino delle temperature (Fig. 11), a cui si accompagna un aumento progressivo delle precipitazioni che si protrae fino a maggio (massimo annuale: 177 mm, Spilimbergo, Fig. 10A; 200 mm, Aviano, Fig. 10B). Notti miti e giornate calde, talvolta secche, caratterizzano l'estate che, dopo aver fatto registrare un massimo di temperatura a luglio, comincia a rinfrescare a fine agosto. Le precipitazioni in questo periodo sono a prevalente carattere temporalesco (con frequenza anche giornaliera nella zona più prossima ai contrafforti prealpini). In autunno si registra un secondo massimo delle precipitazioni, con valori medi mensili di 158 mm (Spilimbergo, Fig. 10A) e 186 mm (Aviano,

Fig. 10B) in novembre. La copertura nuvolosa è molto frequente durante tutto l'anno: ad Aviano i giorni all'anno con cielo nuvoloso o coperto sono ben 255.

Nella zona i venti sono a prevalente direzione nord-sud, con una netta predominanza dei quadranti settentrionali. Nelle zone A e B sono particolarmente significative le brezze di monte che si verificano nelle prime ore

della mattina e della serata, in seguito al riscaldamento e al raffreddamento degli scoscesi versanti prealpini esposti a sud, e conseguente formazione di nuvole in seguito ai fenomeni di condensazione del vapore acqueo delle masse d'aria in risalita. Queste brezze possono disperdere efficacemente eventuali masse di aria inquinata presenti in pianura.

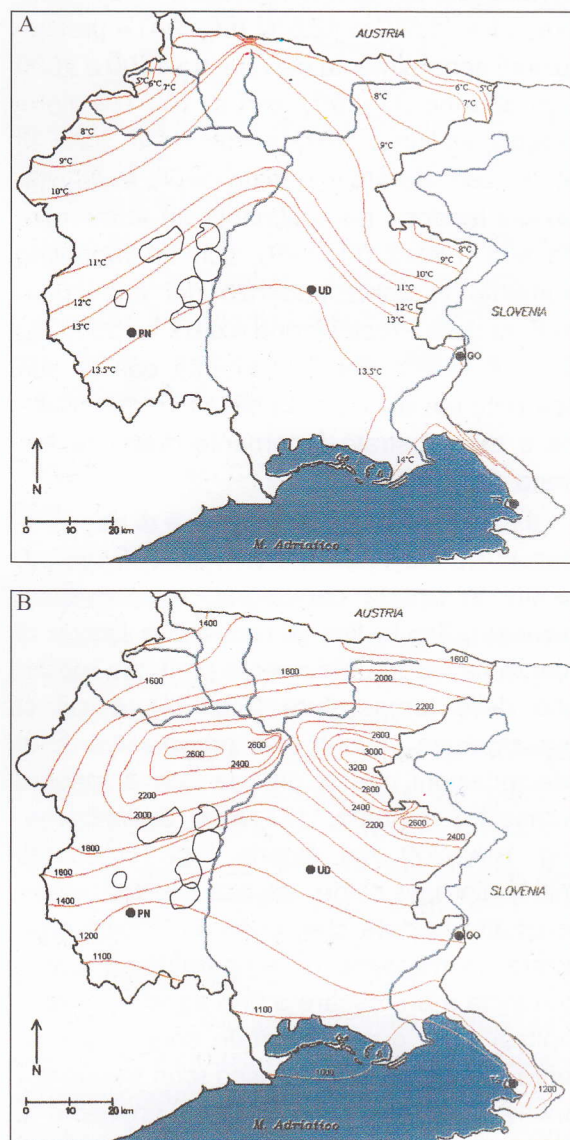


Fig. 9 - Temperatura media annuale (°C, Fig. A) e precipitazioni medie annuali (mm, Fig. B) in Friuli - Venezia Giulia (dati da Gentilli 1964); sono indicate le sei zone di studio di Fig. 1.

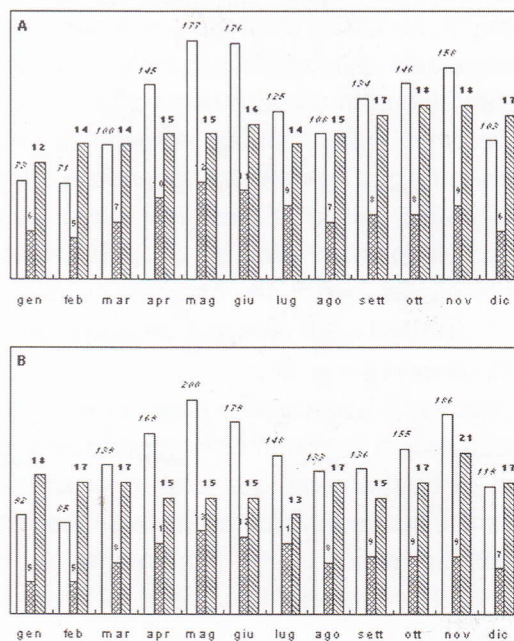


Fig. 10 - Valori medi trentennali delle precipitazioni (mm), numero di giorni piovosi e precipitazioni per giorno piovoso (mm) registrati a Spilimbergo (Fig. A) e ad Aviano (Fig. B).

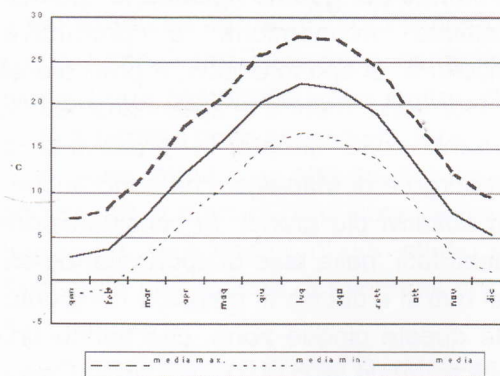


Fig. 11 - Andamento della temperatura media (°C) nel corso dell'anno ad Aviano.

DATI E METODI

Avvertenza: in questo capitolo si illustrano in dettaglio i metodi di preparazione del materiale e delle successive analisi per dare modo ad altri ricercatori di verificare la rigore del lavoro svolto. Essi sono forse di scarso interesse per il pubblico più vasto, che può limitarsi a leggere gli inserti o passare direttamente al capitolo sui risultati della ricerca.

Strategie di campionamento e scelta delle stazioni

In questo studio è stato adottato un campionamento di tipo preferenziale in quanto l'obiettivo si limitava alla descrizione della situazione in aree ristrette, caratterizzate da un'elevata eterogeneità nella distribuzione degli alberi. Tale scelta è compatibile con l'obiettivo del ri-campionamento delle aree.

Le stazioni sono state selezionate dagli operatori dopo un sopralluogo dettagliato del territorio, in modo da coprire con una densità di punti il più possibile uniforme ciascuna area di studio.

Le stazioni sono state numerate progressivamente all'interno di ciascuna area, e vi è stata anteposta la lettera che contrassegna ciascuna area (es. A15). Nella preparazione delle tabelle relative ai valori di bioaccumulo, le stazioni delle sei aree di indagine sono state in seguito sottoposte a numerazione progressiva, da 1 a 97. Le tabelle relative a ciascuna area di studio riportano questa doppia numerazione.

Per ogni stazione è stata allestita una scheda (vedi Fig. 12) in cui sono state riportate una sua succinta descrizione, la fotografia per il riconoscimento degli alberi, alcuni dati relativi ai talli e alla loro posizione sugli alberi, e la localizzazione sulla carta tecnica regionale in scala 1:5000, con indicazione

del foglio da cui è stato ricavato l'inserto. Le schede sono conservate presso l'Ufficio Ecologia della Provincia di Pordenone.

Campionamento

Il campionamento dei talli di *Xanthoria parietina* (vedi l'inserto n. 2) è stato effettuato su tronchi di latifoglie che soddisfacevano le seguenti condizioni: inclinazione non superiore a 10°; assenza di segni evidenti di disturbo (verniciature, chiodi o puntine piantati sul tronco, ecc.); assenza di periodico scolo d'acqua piovana; assenza di superfici decorticate; relativa scarsità di briofite epifite.

Sono stati campionati talli disposti tutto attorno al tronco; nel caso però di alberi in prossimità di strade o altre fonti di disturbo, sono stati campionati preferenzialmente talli che crescevano sulle parti dei tronchi opposte ad esse.

Per evitare contaminazioni da materiale terrigeno i licheni sono stati campionati al di sopra di 70 cm di altezza dal suolo, mediante l'uso di un temperino in acciaio inossidabile; il materiale è stato inserito in scatole di plastica ("petri") sterili.

Il campionamento di ciascuna area è stato effettuato nell'arco di due giorni, con l'eccezione delle zone D ed F (una settimana) durante l'estate 1999.

Preparazione del materiale e analisi chimica

In laboratorio le parti dei talli di *Xanthoria parietina* sono state minuziosamente ripulite al microscopio binoculare per eliminare materiali estranei; nel lavoro di pulitura è stata prestata la massima attenzione per evitare ogni tipo di contaminazione del materiale da metalli in traccia.

Il campione da sottoporre ad analisi consisteva in un miscuglio di tutti i talli campionati,

STAZIONE D 3 (56)

DATA: 02/09/99

DESCRIZIONE

La stazione è localizzata a circa 200 m in linea d'aria dall'inceneritore SNUA, in direzione S. Sono stati raccolti dei talli in ottime condizioni in un filare di noci posto tra un grande e vecchio vigneto ed un campo di soia.

**TALLI**

N° Tallo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Specie	Xanthoria parietina	Xanthoria parietina	Xanthoria parietina	Xanthoria parietina	Xanthoria parietina	Xanthoria parietina	Xanthoria parietina	Xanthoria parietina	Xanthoria parietina	Xanthoria parietina
Diametro	5.4	6	6.7	5.5	5	7	6.2	5.6	6	
Altezza suolo	125	200	180	180	170	155	170	140	140	
Esposizione	SO	E	E	NE	OON	S	NO	E	E	
Danneg.	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente	Assente	
Specie Albero	Juglans regia	Juglans regia	Juglans regia	Juglans regia	Juglans regia	Juglans regia	Juglans regia	Juglans regia	Juglans regia	
Crf. Albero	50	86	65	65	54	70	54	86	70	
Incl. Albero	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	

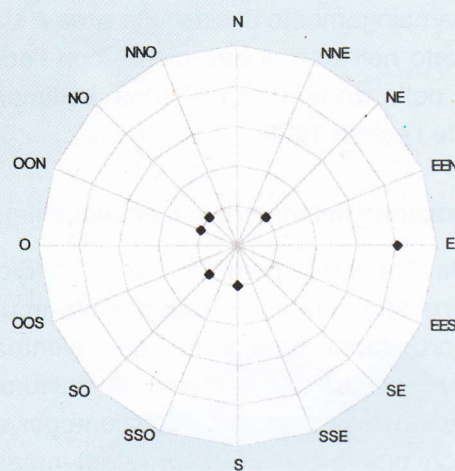
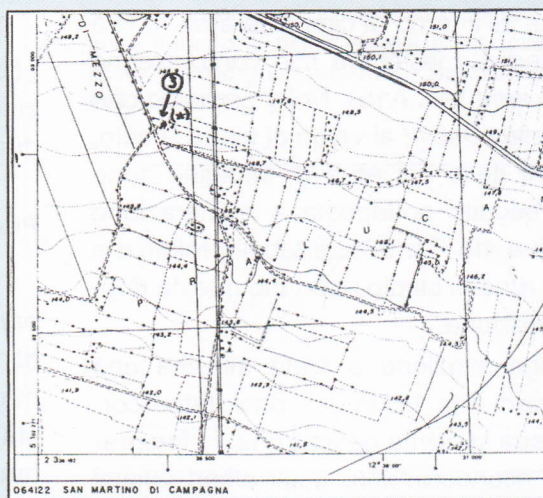
ESPOSIZIONE**LOCALITA': S. Martino di Campagna -064122**

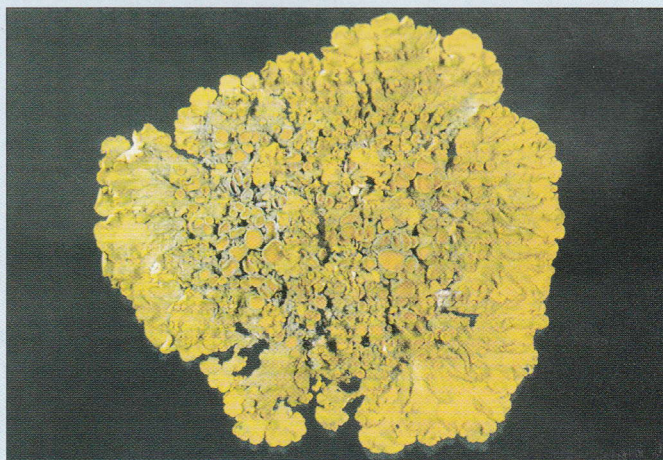
Fig. 12 - Esempio di scheda di rilevamento usata nel lavoro di campionamento. Queste schede sono disponibili presso l'Ufficio Ecologia di Pordenone.

Inserto n. 2 - Il lichene *Xanthoria parietina*

Il lichene campionato in questo lavoro si chiama *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. E' una specie facilmente riconoscibile per il colore arancio intenso dei lobi, relativamente larghi e piatti, e dei corpi fruttiferi, che sono frequenti soprattutto nella parte centrale del tallo (vedi foto). La scelta di questa specie è dovuta al fatto che durante un sopralluogo esteso all'intera area di indagine si era osservato che la *Xanthoria parietina* era l'unica specie fogliosa presente con sufficiente frequenza.

In genere *Xanthoria parietina* è relativamente comune su tutti gli alberi isolati e su diversi substrati litici (muretti di cemento, mattoni, tegole, ecc.). Nella nostra regione questo lichene è assente solo in aree fortemente inquinate; nell'area di indagine è relativamente più raro nella parte immediatamente a ridosso delle montagne, probabilmente a causa delle precipitazioni più frequenti, che determinano una riduzione dell'accumulo delle polveri. *Xanthoria parietina* prospera infatti in ambienti con buona disponibilità di nutrienti minerali, apportati con le polveri.

Questo lichene è già stato utilizzato in numerosi studi di biomonitoraggio ambientale, in particolare per lo studio di fenomeni di bioaccumulo di metalli (Bargagli *et al.* 1985, 1997; Gasparo *et al.* 1989; Nimis *et al.* 1996; Nimis *et al.* 1999). Questo fatto è estremamente importante, in quanto rende possibile comparare l'entità dell'inquinamento nella nostra area di indagine con quella di altre parti del Paese.



Inserto n. 3 - Fonti di emissione di metalli nell'ambiente

La diffusione dei metalli in traccia nell'ambiente ha due sorgenti principali: il suolo e l'attività antropica. Numerosi processi industriali contribuiscono alla loro immissione nell'acqua e nell'aria. Tra i più importanti possiamo citare l'uso dei combustibili fossili (soprattutto del carbone), l'incenerimento dei rifiuti solidi urbani ed industriali, le emissioni dei motori a scoppio, e le attività produttive legate alla lavorazione dei metalli.

Le immissioni aeree avvengono sotto forma gassosa o particellare. Le particelle possono essere distinte in base al loro diametro in "fini" (diametro massimo minore di 10 micron) e "grosse" (diametro massimo maggiore di 10 micron). Le prime sono prodotte dalle emissioni industriali nei processi di combustione, le seconde derivano soprattutto da processi meccanici. I particellati si depositano sugli organismi vegetali mediante tre distinti processi fisici: sedimentazione, impatto e deposito. Un quarto meccanismo è costituito dal cosiddetto "rainout": le particelle vengono catturate dalle gocce di pioggia in caduta, e gli ioni dissolti assorbiti dalle superfici igroscopiche degli organismi. Questo processo è particolarmente importante nei licheni, che si bagnano con grandissima facilità essendo privi di strati protettivi (cuticole), che sono presenti invece nelle piante superiori. L'acqua liquida può però causare anche fenomeni di dilavamento.

che erano almeno sei per stazione. Il materiale ripulito è stato essiccato a temperatura ambiente (H_2O residua minore del 3%), in quanto l'essiccamento in stufa determina la parziale volatilizzazione di alcuni metalli, quali il mercurio. Il campione è stato triturato minuziosamente in un mortaio d'agata per escludere possibili contaminazioni.

Sono stati analizzati i seguenti dieci elementi: alluminio (Al), calcio (Ca), cadmio (Cd), cromo (Cr), ferro (Fe), manganese (Mn), mercurio (Hg), nichel (Ni), rame (Cu), zinco (Zn).

Circa 100-150 mg di campione sono stati posti in contenitori di Teflon e mineralizzati tramite digestione con acido nitrico concentrato (2,5 ml) sotto pressione a 120 °C, per 8 ore (Stöppler & Backhaus 1978). Una volta raffreddato, il prodotto della digestione è stato trasferito in provette da 10 ml e portato a volume con acqua bidistillata.

Le determinazioni analitiche sono state eseguite con tecniche di spettrometria atomica. Il Hg è stato determinato tramite lo spettrofotometro ad assorbimento atomico Perkin-Elmer mod. 300S, con il metodo del vapore freddo (previa riduzione ad Hg^0 con $SnCl_2$). La determinazione di Cd, Cr, Ni è stata eseguita mediante spettrofotometro ad assorbimento atomico (Perkin-Elmer THGA 4100 ZL) con fornello di grafite e correttore di fondo Zeeman. Lo spettrofotometro di emissione al plasma (Perkin-Elmer 400 ICP/AES Plasma) è stato utilizzato per Zn, Fe, Al, Ca, Cu e Mn. Per eliminare l'effetto matrice e per calcolare la concentrazione degli elementi è stato impiegato il metodo delle aggiunte interne: in quattro contenitori di teflon è stata posta un'uguale quantità di uno stesso cam-

pione e su tre di essi, prima della digestione, sono state aggiunte quantità note e crescenti degli elementi da determinare. Tutte le attrezzature usate per il prelievo e per la preparazione dei campioni sono state lavate prima dell'uso con HNO_3 e quindi H_2O bidistillata. Per verificare l'assenza di contaminazione nella vetreria e nei reagenti utilizzati, durante ogni mineralizzazione sono state eseguite una o più prove in bianco introducendo in un contenitore di Teflon solo i reagenti e l'acqua bidistillata.

L'accuratezza delle procedure analitiche è stata valutata usando materiali standard di riferimento dotati di certificazione del contenuto di elementi in tracce (SRM n° 1573a "Tomato Leaves" fornito dal NIST, Gaithersburg, USA).

I risultati delle determinazioni analitiche sono stati ritenuti validi se i valori misurati nei materiali di riferimento rientravano nell'intervallo di concentrazione media certificata più o meno la deviazione standard; in caso contrario le analisi sono state ripetute.

La precisione delle analisi è stata controllata sia facendo più mineralizzazioni dei campioni, sia ripetendo, nell'ambito di una stessa mineralizzazione, le determinazioni analitiche su replicati di uno stesso campione. I coefficienti di variazione per i vari elementi ricadevano nei seguenti intervalli: tra il 5 e il 10 % per Cu, Fe, Hg e Zn, tra il 10 e il 15% per Cd, Mn e Ca, tra il 15 e il 22 % per Al, Ni e Cr.

Le concentrazioni di tutti gli elementi sono state determinate presso il laboratorio del Prof. Roberto Bargagli (Dipartimento di Biologia Ambientale, Università degli Studi di Siena).

Inserto n. 4 - Perché i licheni sono degli ottimi bioaccumulatori di metalli

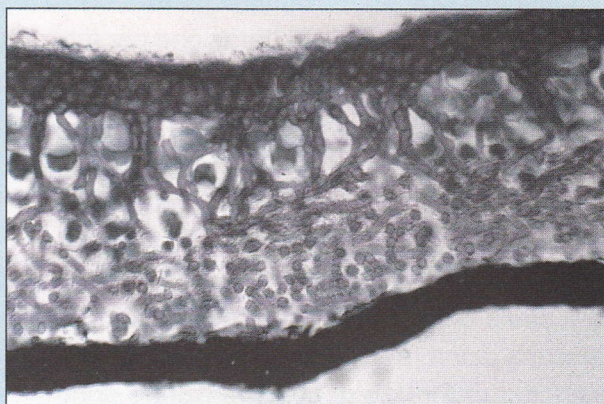
I licheni presentano delle caratteristiche morfologiche e funzionali che li rendono particolarmente efficaci nell'accumulo di metalli in tracce. Essi infatti sono caratterizzati da:

- 1) elevata tolleranza verso questi inquinanti;
- 2) ampia distribuzione nell'area in esame;
- 3) ciclo vitale lungo;
- 4) assenza di parti che vengono perse stagionalmente;
- 5) assenza di differenze stagionali nell'abilità di accumulo;
- 6) immobilità.

Il loro corpo (chiamato con termine tecnico "tallo") presenta inoltre al proprio interno degli ampi spazi tra le ife del fungo, in cui può accumularsi materiale particellare (vedi la foto in basso a destra). Il tallo lichenico non è coperto come nel caso delle foglie da uno strato cuticolare impermeabile, ma da ife compatte ricoperte da sostanze mucillaginose piuttosto igrofile che possono a loro volta imprigionare particelle di materiale. Nei licheni fogliosi i talli sono ancorati al substrato tramite delle strutture particolari, simili alle radici, chiamate rizine, che sono la sede privilegiata per l'accumulo di polveri e di frammenti di substrato. Per evitare che ci sia una contaminazione da parte del substrato, le analisi vengono di norma effettuate soltanto sulla parte più periferica dei talli, che non presenta ancora rizine. Questa parte viene accuratamente preparata in laboratorio lavorando allo stereomicroscopio.

Nei licheni il valore di bioaccumulo totale di ciascun metallo può essere suddiviso in diverse frazioni, a seconda del tipo di localizzazione nel tallo (Nieboer *et al.* 1978, Buck & Brown 1979, Brown & Beckett 1985). Una cospicua frazione si accumula ad esempio all'esterno del tallo sotto forma di polveri o negli spazi intercellulari sotto forma di particellato insolubile (Nieboer *et al.* 1978, Garty *et al.* 1979, Galun *et al.* 1984, Brown 1987, Purvis & Halls 1996, McLean *et al.* 1998). Una seconda frazione, che si può definire "biotica", è invece presente nelle ife e nelle cellule algali del lichene. In questo caso essa può essere localizzata in tre diversi compartimenti: a livello della parete cellulare, nelle membrane cellulari, oppure nel citoplasma (Nieboer *et al.* 1978). A differenza della frazione insolubile, quella biotica influenza direttamente il metabolismo dell'organismo. L'acquisizione di cationi negli spazi intra- ed extracellulari riguarda processi fisiologici completamente diversi, in quanto l'adsorbimento di questi metalli sulla parete cellulare è un fenomeno passivo di natura chimico-fisica, mentre l'assunzione all'interno della cellula è un processo controllato biologicamente (Farrar 1976, Nieboer *et al.* 1978, Nieboer & Richardson 1981, Richardson *et al.* 1984).

Negli studi di biomonitoraggio ambientale, si considera il contenuto totale di ciascun metallo, senza fare in genere alcuna distinzione tra le diverse frazioni. Vengono utilizzati licheni epifiti (che crescono cioè sugli alberi), in quanto la corteccia è un substrato la cui composizione chimica primaria, contrariamente a quanto avviene per altri tipi di substrato, è relativamente costante.



Elaborazioni dei dati

Per evidenziare eventuali trend di variazione rispetto alla possibile fonte emittente di ciascuna delle sei zone di indagine (indicate con le lettere A-F in Fig. 1), sono stati condotti con programmi di analisi statistica (Excel97, Microsoft Inc.; Statistica 5.0, Statsoft Inc.) semplici test di regressione lineare tra la distanza delle singole stazioni e i rispettivi valori di ciascun metallo.

Per la visualizzazione dei pattern distribuzionali dei singoli metalli è stato utilizzato il programma di cartografia computerizzata SURFER per Windows (Golden Software Inc., 1989), che comprende software per la cartografia bi- e tridimensionale. Entrambe sono basate sulla costruzione di una griglia, le cui maglie hanno dimensioni calcolate in base ai valori estremi dei dati di input. Il metodo di interpolazione, utilizzato per creare una maglia regolare a partire da punti (= stazioni) disposte irregolarmente nell'area di studio, si basa sui valori di concentrazione del metallo negli n punti più vicini alla stazione considerata (nel nostro caso n è pari alla metà delle stazioni di ciascuna area di studio, arrotondato per difetto). Il risultato è un reticolo regolare sovrapposto all'area considerata, in base al quale vengono successivamente elaborate le carte bi- e tridimensionali.

La valutazione sintetica dei risultati è stata ottenuta elaborando le seguenti carte:

- 1) valori di naturalità/alterazione per tutti i metalli;
- 2) indice sintetico di naturalità;
- 3) carico totale dei metalli;
- 4) indice sintetico di tossicità potenziale.

L'indice sintetico di naturalità è stato calcolato come proposto da Nimis *et al.* (1999). La matrice delle concentrazioni dei metalli di ciascuna zona è stata trasformata in una matrice in cui i dati di concentrazione sono

sostituiti dai corrispondenti valori ordinali delle sette classi di naturalità/alterazione ambientale (vedi l'inserto n. 5); 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 (che assume valori tra 0 e 10) viene quindi calcolato con la formula di Nimis *et al.* (1999: 10).

Il carico totale di ogni stazione è stato calcolato sommando i valori degli indici di naturalità/alterazione di tutti i metalli, e normalizzando i totali su una scala da 0 a 10.

L'indice sintetico di tossicità potenziale di ogni stazione è stato calcolato in base a una nuova matrice ottenuta moltiplicando la matrice di metalli e stazioni di ogni area per un vettore-riga a che attribuisce ad ogni metallo un indice di tossicità compreso tra 0 e 2, come segue:

1) tossicità 0: Al, Ca, Fe, Mn; questi metalli sono scarsamente tossici anche ad elevate concentrazioni;

2) tossicità 1: Cu, Ni, Zn; questi metalli sono tossici solo a concentrazioni elevate;

3) tossicità 2: Cd, Cr, Hg; questi metalli sono tossici anche a concentrazioni relativamente basse.

La tossicità potenziale, che assume valori tra 0 e 10, è stata calcolata in base alla formula di Nimis *et al.* (1999: 10).

La valutazione della tossicità potenziale così formulata va intesa solo come uno strumento pratico di stima del pericolo di esposizione in ciascuna stazione. La tossicità per l'uomo non dipende ovviamente dalle concentrazioni rilevate nei licheni.

Al fine di identificare i metalli con distribuzione di frequenza anomala nella zona di studio, per ciascun elemento sono stati costruiti degli istogrammi di frequenza riportando per ciascuna delle sette classi percentili il nume-

ro di stazioni che ricadevano in quella stessa classe percentile. Questi istogrammi sono stati raggruppati in base ai risultati di una classificazione della matrice "stazioni x valori ordinali di naturalità/alterazione", applicando la distanza euclidea come misura di distanza (= dissomiglianza) e la minima varianza come metodo di formazione dei gruppi.

Per fornire una interpretazione riassuntiva dei risultati, la tabella dei valori ordinali di naturalità/alterazione è stata quindi sottoposta a un processo di ordinamento delle componenti principali (BIPLOT, vedi Gabriel 1971) mediante il package di programmi SPSS. Dalla matrice "stazioni x metalli" di

dimensioni 97 x 9 è stata ottenuta una matrice di somiglianza basata sul coefficiente di correlazione per ricavare quindi una matrice di autovettori (coordinate o "scores" dei punti-variabile) che è stata moltiplicata per la matrice standardizzata dei dati originali, in modo da ottenere le componenti principali (le coordinate o "scores" dei punti-oggetto). E' stato costruito quindi un grafico bidimensionale in base alle prime due componenti principali per disporre contemporaneamente tanto i metalli quanto le stazioni: le stazioni più prossime ad un determinato elemento hanno valori particolarmente elevati di contaminazione.

Inserto n. 5 - Che cos'è e come si deve leggere la scala di naturalità-alterazione

Poiché per le aree di studio non esistono dati strumentali sulle deposizioni di metalli, è impossibile ricavare una relazione quantitativa tra le concentrazioni di un metallo nei licheni e i corrispondenti valori in aria o al suolo. Per stimare l'entità dell'alterazione ambientale, e quindi pesare o valutare in qualche modo i livelli di concentrazioni di metalli nei talli dei licheni, è stata utilizzata una scala che è stata elaborata sulla base dell'analisi di migliaia di misure relative all'intero territorio italiano, svolte in aree con diverse situazioni geomorfologiche e con diversi tassi di inquinamento, seguendo procedure simili a quelle suggerite da Nimis & Bargagli (1999). La scala così ottenuta (Tab. 1), specifica per *Xanthoria parietina*, si basa sull'analisi della distribuzione dei valori percentili dei metalli per cui erano disponibili almeno 100 misure in almeno tre aree diverse del Paese (nel nostro caso, 9 metalli in tutto, con l'eccezione del calcio). La classe 1 rappresenta la situazione di massima naturalità, i cui valori sono prossimi al background calcolato come media dei valori minimi sinora riscontrati in Italia, mentre la classe 7 rappresenta la situazione di massima alterazione, con valori corrispondenti ai massimi assoluti registrati in Italia. L'analisi comparativa che ne deriva permette di ottimizzare l'interpretazione dei dati, riducendo il rischio di sovrastimare o al contrario di sottostimare il reale tasso di contaminazione da metalli nell'area di studio. Si deve sottolineare che i dati di Tab. 1 si discostano alquanto dai dati riportati nella metodica standardizzata A.N.P.A. (Nimis & Bargagli 1999), in quanto questi ultimi sono relativi a specie diverse di licheni. Ciò comporta un certo grado di imprecisione, a cui si è ovviato calcolando appunto le scale percentili di Tab. 1.

Tab. 1 - Scale percentili dei livelli di naturalità/alterazione ottenuti sulla base dei valori di concentrazione dei metalli nel lichene *Xanthoria parietina*; le concentrazioni sono espresse in ppm.

Nr. misure			510	510	510	510	485
Percentili	Nat./Alterazione	Colori	Al	Cd	Cr	Cu	Fe
20°perc.	1- Nat. molto alta	Blu	<312	<0,17	<1,52	<5,73	<288,8
50°perc.	2- Nat. alta	Verde scuro	541	0,29	2,47	7,90	448
75°perc.	3- Nat. media	Verde chiaro	920	0,43	3,58	11	668
90°perc.	4- Nat./Alter. basse	Giallo	1475	0,74	5,57	15,90	1032,6
95°perc.	5- Alter. media	Arancione	2068	0,98	7,17	20,82	1362
98°perc.	6- Alter. alta	Rosso	3089	1,40	9,61	35,27	1669,8
	7- Alter. molto alta	Cremisi	>3089	>1,40	>9,61	>35,27	>1669,8
Max Italia			8390	2,55	60,50	148,32	4276

510	510	510	510
Hg	Mn	Ni	Zn
<0,06	<16,5	<0,99	<24,9
0,1	22	1,86	31,35
0,150	28	2,93	39
0,2	40,91	4,22	47,15
0,230	47,22	5,21	54
0,278	62,62	7,10	83,26
>0,278	>62,62	>7,10	>83,26
1,04	136,2	34,4	164

RISULTATI

Il contenuto medio dei 10 metalli nei talli di *X. parietina*, espressi in ppm ($\mu\text{g g}^{-1}$), con i valori di deviazione standard (Dev.st.), e ai valori minimi e massimi sono riportati in Tab. 2. I dati relativi a ciascuna zona sono riportati nelle successive tabelle 3-4 (zona A), 5-6 (zona B), 7-8 (zona C), 9-10 (zona D), 11-12 (zona E) e 13-14 (zona F).

Per ciascun metallo sono stati elaborati congiuntamente due tipi di carte:

1) carte suddivise in dieci fasce, ottenute dividendo in parti uguali l'intervallo tra il valore minimo e il valore massimo; esse mostrano la distribuzione sul territorio e permettono di individuare le aree con massimi relativi (locali);

2) carte suddivise in sette fasce, corrispondenti ai livelli di naturalità/alterazione (vedi inserto n. 5); esse permettono di relativizzare i livelli di alterazione in rapporto a quanto riscontrato in altre parti del nostro Paese.

La presentazione dei risultati segue l'ordine dei gruppi di metalli individuato da una classificazione dei dati di contaminazione che ha raggruppato i metalli in base alla somiglianza dei loro pattern di distribuzione sul territorio. Di ciascun metallo vengono brevemente illustrate le principali caratteristiche di produzione e rilascio nell'ambiente, e gli effetti sugli organismi, quindi si illustrano le caratteristiche distributive nell'area di indagine.

Tab. 2 - Statistiche riassuntive dei valori di contaminazione misurati in *Xanthoria parietina* nelle sei aree di studio; n = 97.

	Cd	Zn	Al	Fe	Mn
Media	0,533	28,1	331	361	21,4
Dev.st.	0,422	7,7	193	169	7,7
Min.	0,102	10,4	104	118	8,5
Max.	2,550	52,2	1319	1112	46,2
	Cu	Ca	Cr	Ni	Hg
Media	9,4	1570	3,14	3,02	0,084
Dev.st.	14,1	790	1,51	1,97	0,056
Min.	2,5	802	1,00	0,64	0,011
Max.	124,5	5462	9,59	10,85	0,270

Tab. 3 - Concentrazione dei metalli (ppm) nei talli di *Xanthoria parietina* della zona A, e relative statistiche.

Stazione	n. progr.	Cd	Zn	Al	Fe	Mn	Cu	Ca	Cr	Ni	Hg
A3	1	0,363	26,6	560	538	30,5	7,0	867	3,03	1,51	0,158
A26	2	0,371	23,2	179	295	18,9	7,0	1337	3,90	1,47	0,074
A9	3	0,444	24,0	374	432	23,5	20,6	1451	9,59	1,75	0,091
A10	4	0,309	19,0	218	246	14,3	6,4	1060	3,02	0,91	0,134
A12	5	0,214	23,5	159	188	16,8	5,4	949	3,36	1,14	0,063
A13	6	0,294	22,9	313	374	15,6	6,6	1412	5,27	1,82	0,017
A14	7	0,401	27,0	520	463	26,2	7,9	1565	6,50	1,51	0,052
A16	8	0,233	20,1	179	159	13,9	5,7	1114	1,88	0,90	0,100
A17	9	0,655	28,2	332	318	17,8	6,1	1371	3,50	0,99	0,134
A51	10	0,379	18,4	239	246	12,8	6,1	937	3,04	1,44	0,148
A52	11	0,274	51,2	298	377	22,5	6,4	1442	4,87	1,20	0,120
A54	12	0,198	19,5	204	208	18,4	4,7	1386	6,27	1,47	0,103
A55	13	0,287	18,9	308	323	15,9	5,4	1329	6,30	1,40	0,102
Media		0,340	24,8	299	321	19,0	7,3	1248	4,66	1,35	0,100
Dev.st.		0,121	8,6	126	113	5,3	4,1	231	2,10	0,30	0,041
Coeff.var.		35,5	34,6	42,3	35,4	27,6	55,7	18,5	45,0	22,0	40,7
Min.		0,198	18,4	159	159	12,8	4,7	867	1,88	0,90	0,017
Max.		0,655	51,2	560	538	30,5	20,6	1565	9,59	1,82	0,158

Tab. 4 - I dati della tabella 3 sono qui espressi nelle sette classi ordinali di naturalità/alterazione definiti in tabella 1. Per ulteriori dettagli vedi l'insero "Che cos'è e come si deve leggere la scala di naturalità-alterazione".

Stazione	n. progr.	Cd	Zn	Al	Fe	Mn	Cu	Cr	Ni	Hg	I.N.	C.T.	T.P.
A3	1	3	1	1	3	4	2	3	2	4	3,3	2,6	4,0
A26	2	3	5	1	2	2	2	4	2	2	3,9	2,6	4,3
A9	3	4	1	1	2	3	5	6	2	2	3,9	3,1	5,1
A10	4	3	1	1	1	1	2	3	1	3	6,1	1,3	3,5
A12	5	2	1	2	1	2	1	3	2	2	6,1	1,3	2,9
A13	6	3	1	2	2	1	2	4	2	1	5,6	1,7	3,3
A14	7	3	1	1	3	3	2	5	2	1	4,4	2,2	3,7
A16	8	2	1	2	1	1	2	2	1	3	6,7	1,1	2,9
A17	9	4	1	1	2	2	2	3	2	3	4,4	2,0	4,0
A51	10	3	1	3	1	1	2	3	2	3	4,4	1,9	3,7
A52	11	2	2	1	2	3	2	4	2	3	3,9	2,2	3,8
A54	12	2	2	1	1	2	1	5	2	3	5,6	1,9	4,0
A55	13	2	2	2	2	1	1	5	2	3	5,0	2,0	4,0

Deposizione di metalli nella pedemontana pordenonese

Tab. 5 - Concentrazione dei metalli (ppm) nei talli di *Xanthoria parietina* della zona B, e relative statistiche.

Stazione	n. progr.	Cd	Zn	Al	Fe	Mn	Cu	Ca	Cr	Ni	Hg
B2	14	0,204	25,1	218	207	18,4	5,5	1172	2,13	0,96	0,158
B3	15	0,195	25,8	299	288	33,3	5,8	1179	2,55	1,13	0,244
B4	16	0,387	18,3	195	197	11,7	4,5	830	1,93	0,94	0,188
B5	17	0,112	10,4	160	148	12,1	2,8	1002	2,08	0,93	0,196
B6	18	0,161	18,6	161	169	12,4	4,1	920	3,20	3,21	0,189
B7	19	0,166	23,9	190	297	19,4	3,8	1108	3,43	1,00	0,165
B9	20	0,217	22,1	204	266	20,2	4,0	802	1,78	0,81	0,198
B10	21	0,340	19,5	114	192	13,5	4,2	906	1,25	1,37	0,047
B11	22	0,204	20,9	121	186	19,5	5,0	1157	1,82	1,25	0,133
B12	23	0,188	18,5	124	187	18,4	6,1	1015	1,00	1,21	0,081
B13	24	0,193	26,1	180	279	26,4	6,5	1354	2,03	1,23	0,181
B14	25	0,102	19,5	136	221	15,3	5,4	1020	1,37	1,00	0,098
B15	26	0,755	29,2	213	325	17,7	7,2	1302	2,11	0,99	0,236
B16	27	0,243	52,2	192	294	23,0	6,0	1487	2,15	2,09	0,110
B17	28	0,216	23,5	174	228	24,2	6,6	1079	1,79	0,83	0,081
B19	29	0,906	34,9	192	275	16,6	4,8	1030	3,57	0,84	0,123
B20	30	0,123	13,1	111	139	9,1	3,9	807	1,60	0,64	0,069
B21	31	0,363	44,2	319	494	35,3	3,9	2265	3,21	2,38	0,221
B22	32	0,278	24,8	200	311	19,1	6,9	1051	1,84	2,12	0,132
Media		0,282	24,8	184	248	19,2	5,1	1131	2,15	1,31	0,150
Dev.st.		0,210	10,0	56	83	6,9	1,2	330	0,73	0,66	0,059
Coeff.var.		74,6	40,3	30,2	33,4	36,0	24,3	29,2	34,0	50,6	39,2
Min.		0,102	10,4	111	139	9,1	2,8	802	1,00	0,64	0,047
Max.		0,906	52,2	319	494	35,3	7,2	2265	3,57	3,21	0,244

Tab. 6 - I dati della tabella 5 sono qui espressi nelle sette classi ordinali di naturalità/alterazione definiti in tabella 1. Per ulteriori dettagli vedi l'inserito "Che cos'è e come si deve leggere la scala di naturalità-alterazione".

Stazione	n. progr.	Cd	Zn	Al	Fe	Mn	Cu	Cr	Ni	Hg	I.N.	C.T.	T.P.
B2	14	2	2	1	1	2	1	2	1	4	6,7	1,3	3,2
B3	15	2	2	1	1	4	2	3	2	6	4,4	2,6	4,4
B4	16	3	1	1	1	1	1	2	1	4	7,2	1,1	3,3
B5	17	1	1	1	1	1	1	2	1	4	8,3	0,7	2,7
B6	18	1	1	1	1	1	1	3	4	4	6,7	1,5	3,5
B7	19	1	1	1	2	2	1	3	2	4	6,1	1,5	3,2
B9	20	2	1	1	1	2	1	2	1	4	7,2	1,1	3,0
B10	21	3	1	1	1	1	1	1	2	1	8,3	0,6	2,2
B11	22	2	1	1	1	2	1	2	2	3	6,7	1,1	2,9
B12	23	2	1	1	1	2	2	1	2	2	7,2	0,9	2,4
B13	24	2	2	1	1	3	2	2	2	4	5,0	1,9	3,5
B14	25	1	1	1	1	1	1	1	2	2	8,9	0,4	1,9
B15	26	5	2	1	2	2	2	2	1	6	5,0	2,6	4,9
B16	27	2	5	1	2	3	2	2	3	3	3,3	2,6	3,8
B17	28	2	1	1	1	3	2	2	1	2	6,7	1,1	2,5
B19	29	5	3	1	1	2	1	3	1	3	5,0	2,0	4,3
B20	30	1	1	1	1	1	1	2	1	2	8,9	0,4	2,1
B21	31	3	4	2	3	4	1	3	3	5	1,7	3,5	4,8
B22	32	2	1	1	2	2	2	2	3	3	5,0	1,7	3,2

Tab. 7 - Concentrazione dei metalli (ppm) nei talli di *Xanthoria parietina* della zona C, e relative statistiche.

Stazione	n. progr.	Cd	Zn	Al	Fe	Mn	Cu	Ca	Cr	Ni	Hg
C1	33	0,589	23,0	147	262	14,2	2,5	2238	2,32	5,17	0,077
C2	34	1,460	36,7	504	652	31,3	7,2	2461	6,75	8,47	0,049
C2'	35	1,260	34,0	387	612	29,0	6,4	4928	5,08	9,46	0,054
C3	36	0,343	25,6	229	221	18,4	9,6	942	1,74	3,46	0,100
C4	37	0,389	21,6	218	226	17,7	4,3	1562	1,80	3,47	0,068
C5	38	0,382	31,0	543	568	26,3	5,8	1375	3,29	6,81	0,078
C6	39	0,211	22,9	295	299	15,7	3,8	1178	2,89	4,83	0,071
C8	40	0,234	21,4	216	210	13,9	2,8	890	1,69	3,83	0,079
C9	41	0,427	35,7	201	198	17,7	4,8	1045	1,55	3,10	0,038
C10	42	0,298	28,3	467	457	25,8	4,7	1322	3,01	5,91	0,075
C11	43	0,306	25,1	341	337	15,9	3,9	1002	2,36	3,69	0,270
C12	44	0,184	21,3	122	192	15,0	4,0	1160	1,75	1,40	0,040
C13	45	0,848	26,9	156	271	13,9	6,9	905	3,53	2,91	0,062
C14	46	0,934	23,6	106	160	12,3	4,2	913	2,00	1,20	0,074
C15	47	1,240	27,8	114	181	12,7	4,1	1137	1,91	1,43	0,049
C16	48	1,610	29,7	183	292	17,1	6,5	1467	3,10	1,94	0,036
C17	49	0,976	23,3	104	215	11,6	6,5	1042	3,24	2,42	0,097
C18	50	0,894	27,1	197	429	14,5	6,3	1477	3,17	2,91	0,126
C19	51	2,550	37,7	195	323	15,9	4,9	1127	2,48	2,13	0,109
C20	52	0,692	42,4	321	532	26,2	6,1	1198	3,00	2,00	0,045
C21	53	0,904	39,9	541	685	20,5	5,6	1894	4,52	2,98	0,058
Media		0,797	28,8	266	349	18,4	5,3	1489	2,91	3,79	0,079
Dev.st.		0,588	6,5	145	169	5,9	1,6	896	1,28	2,27	0,050
Coeff.var.		73,8	22,6	54,6	48,6	31,9	31,3	60,2	43,9	59,9	63,4
Min.		0,184	21,3	104	160	11,6	2,5	890	1,55	1,20	0,036
Max.		2,550	42,4	543	685	31,3	9,6	4928	6,75	9,46	0,270

Tab. 8 - I dati della tabella 7 sono qui espressi nelle sette classi ordinali di naturalità/alterazione definiti in tabella 1. Per ulteriori dettagli vedi l'insero "Che cos'è e come si deve leggere la scala di naturalità-alterazione".

Stazione	n. progr.	Cd	Zn	Al	Fe	Mn	Cu	Cr	Ni	Hg	I.N.	C.T.	T.P.
C1	33	4	1	1	2	1	1	2	5	2	6,1	1,9	3,7
C2	34	7	3	2	3	4	2	5	7	1	2,2	4,6	6,0
C2'	35	6	3	2	3	4	2	4	7	1	2,2	4,3	5,4
C3	36	3	2	1	1	2	3	2	4	3	3,9	2,2	4,0
C4	37	3	1	1	1	2	1	2	4	2	6,1	1,5	3,2
C5	38	3	2	3	3	3	2	3	6	2	1,7	3,3	4,1
C6	39	2	1	1	2	1	1	3	5	2	6,1	1,7	3,3
C8	40	2	1	1	1	1	1	2	4	2	7,2	1,1	2,9
C9	41	3	3	1	1	2	1	2	4	1	5,6	1,7	3,2
C10	42	3	2	2	3	3	1	3	6	2	2,8	3,0	4,0
C11	43	3	2	2	2	1	1	2	4	6	4,4	2,6	4,6
C12	44	2	1	1	1	1	1	2	2	1	8,3	0,6	2,2
C13	45	5	2	1	2	1	2	3	3	2	4,4	2,2	4,3
C14	46	5	1	1	1	1	1	2	2	2	7,2	1,3	3,5
C15	47	6	2	1	1	1	1	2	2	1	7,2	1,5	3,7
C16	48	7	2	1	2	2	2	3	3	1	4,4	2,6	4,6
C17	49	5	1	1	1	1	2	3	3	2	5,6	1,9	4,1
C18	50	5	2	1	2	1	2	3	3	3	3,9	2,4	4,6
C19	51	7	3	1	2	1	1	3	3	3	3,9	2,8	5,2
C20	52	4	4	2	3	3	2	3	3	1	2,2	3,0	4,0
C21	53	5	4	3	4	2	1	4	4	1	2,8	3,5	4,6

Deposizione di metalli nella pedemontana pordenonese

Tab. 9 - Concentrazione dei metalli (ppm) nei talli di *Xanthoria parietina* della zona D, e relative statistiche.

Stazione	n. progr.	Cd	Zn	Al	Fe	Mn	Cu	Ca	Cr	Ni	Hg
D1	54	0,692	42,4	321	532	26,2	6,1	1198	3,00	2,00	0,152
D2	55	0,904	39,9	541	685	20,5	5,6	1894	4,52	2,98	0,058
D3	56	0,272	25,4	274	362	20,3	8,0	1228	2,49	1,82	0,060
D4	57	0,229	26,6	385	441	27,2	7,0	2025	4,09	2,21	0,040
D5	58	0,206	31,9	440	473	45,0	15,3	1905	3,03	7,15	0,036
D6	59	0,275	28,9	352	418	29,1	7,9	2032	3,86	3,03	0,058
D7	60	0,149	27,4	274	308	22,5	6,7	5462	3,36	2,14	0,041
D8	61	0,103	30,3	285	427	26,5	7,0	3527	5,65	3,48	0,028
D9	62	0,334	31,9	425	645	27,9	7,9	3678	5,61	3,94	0,052
Media		0,352	31,6	366	477	27,2	7,9	2550	3,96	3,19	0,058
Dev.st.		0,268	5,9	91	124	7,4	2,9	1400	1,13	1,65	0,037
Coeff.var.		76,1	18,6	24,7	26,1	27,1	36,2	54,9	28,6	51,6	63,2
Min.		0,103	25,4	274	308	20,3	5,6	1198	2,49	1,82	0,028
Max.		0,904	42,4	541	685	45,0	15,3	5462	5,65	7,15	0,152

Tab. 10 - I dati della tabella 9 sono qui espressi nelle sette classi ordinali di naturalità/alterazione definiti in tabella 1. Per ulteriori dettagli vedi l'inserto "Che cos'è e come si deve leggere la scala di naturalità-alterazione".

Stazione	n. progr.	Cd	Zn	Al	Fe	Mn	Cu	Cr	Ni	Hg	I.N.	C.T.	T.P.
D1	54	4	4	2	3	3	2	3	3	4	1,1	3,5	4,9
D2	55	5	4	3	4	2	1	4	4	1	2,8	3,5	4,6
D3	56	2	2	1	2	2	3	3	2	2	4,4	1,9	3,3
D4	57	2	2	2	2	3	2	4	3	1	3,9	2,2	3,3
D5	58	2	3	2	3	5	4	3	7	1	2,2	3,9	4,1
D6	59	2	2	2	2	4	3	4	4	1	3,3	2,8	3,7
D7	60	1	2	1	2	3	2	3	3	1	5,0	1,7	2,7
D8	61	1	2	1	2	3	2	5	4	1	5,0	2,2	3,5
D9	62	3	3	2	3	3	2	5	4	1	2,2	3,1	4,3

Tab. 11 - Concentrazione dei metalli (ppm) nei talli di *Xanthoria parietina* della zona E, e relative statistiche.

Stazione	n. progr.	Cd	Zn	Al	Fe	Mn	Cu	Ca	Cr	Ni	Hg
E1	63	0,403	29,7	335	347	19,6	5,4	1890	2,14	4,61	0,064
E2	64	0,332	26,0	434	457	23,0	6,2	1488	2,68	5,08	0,059
E3	65	0,658	41,3	547	536	39,5	11,2	1640	2,42	5,23	0,143
E4	66	0,373	33,2	441	444	46,2	46,7	3582	2,11	3,75	0,060
E5	67	0,489	33,8	667	640	30,7	9,3	2151	2,92	5,08	0,056
E6	68	0,631	31,8	470	413	21,5	11,7	984	2,26	4,62	0,068
E7	69	0,519	34,0	300	289	22,3	25,6	1497	2,63	4,18	0,103
E8	70	0,234	20,3	195	178	16,2	17,5	1384	1,60	2,91	0,054
E9	71	0,978	49,9	1319	1112	40,9	124,5	1786	6,34	10,85	0,103
E11	72	0,668	23,4	817	648	21,8	8,2	1466	7,18	6,67	0,014
E12	73	0,786	30,1	481	390	21,3	15,9	1720	2,81	3,74	0,014
E13	74	0,301	42,0	593	557	23,0	13,6	1196	3,28	3,64	0,042
E14	75	0,355	26,6	687	526	37,8	7,8	1465	3,00	3,70	0,028
E15	76	0,453	28,4	574	532	24,4	8,6	2156	3,52	4,10	0,011
E16	77	0,681	25,4	368	321	19,8	5,9	1343	2,35	2,35	0,025
E17	78	1,410	20,9	643	523	19,4	7,9	2227	7,16	4,35	0,016
F11	89	0,615	24,7	552	503	19,7	9,4	1302	3,34	5,06	0,075
F12	90	0,348	21,7	207	118	8,5	5,7	2656	2,44	3,60	0,098
F17	95	1,500	32,6	126	128	11,1	5,6	2233	1,62	2,45	0,032
F18	96	1,170	35,0	238	267	19,6	5,1	1656	2,05	2,95	0,044
Media		0,645	30,5	500	446	24,3	17,6	1791	3,19	4,45	0,055
Dev.st.		0,362	7,6	267	222	9,8	26,9	592	1,68	1,83	0,036
Coeff.var.		56,1	25,0	53,4	49,6	40,5	153,1	33,1	52,7	41,2	64,3
Min.		0,234	20,3	126	118	8,5	5,1	984	1,60	2,35	0,011
Max.		1,500	49,9	1319	1112	46,2	124,5	3582	7,18	10,85	0,143

Tab. 12 - I dati della tabella 11 sono qui espressi nelle sette classi ordinali di naturalità/alterazione definiti in tabella 1. Per ulteriori dettagli vedi l'inserito "Che cos'è e come si deve leggere la scala di naturalità-alterazione".

Stazione	n. progr.	Cd	Zn	Al	Fe	Mn	Cu	Cr	Ni	Hg	I.N.	C.T.	T.P.
E1	63	3	2	2	2	2	1	2	5	2	4,4	2,2	3,5
E2	64	3	2	2	3	3	2	3	5	1	2,8	2,8	3,7
E3	65	4	4	3	3	4	4	2	6	3	0,6	4,4	5,1
E4	66	3	3	2	2	5	7	2	4	2	2,2	3,9	4,4
E5	67	4	3	3	3	4	3	3	5	1	1,1	3,7	4,3
E6	68	4	3	2	2	2	4	2	5	2	2,8	3,1	4,4
E7	69	4	3	1	2	3	6	3	4	3	1,7	3,7	5,2
E8	70	2	1	1	1	1	5	2	3	1	6,7	1,5	3,0
E9	71	5	5	4	5	5	7	5	7	3	0,0	6,9	7,1
E11	72	4	1	3	3	2	3	6	6	1	2,8	3,7	5,1
E12	73	5	2	2	2	2	5	3	4	1	3,3	3,1	4,6
E13	74	3	4	3	3	3	4	3	4	1	1,1	3,5	4,1
E14	75	3	2	3	3	4	2	3	4	1	2,2	3,0	3,5
E15	76	4	2	3	3	3	3	3	4	1	1,7	3,1	4,0
E16	77	4	2	2	2	2	2	2	3	1	4,4	2,0	3,3
E17	78	7	1	3	3	2	2	5	5	1	3,3	3,7	5,4
F11	89	4	1	3	3	2	3	3	5	2	2,2	3,1	4,3
F12	90	3	1	1	1	1	2	2	4	2	6,1	1,5	3,3
F17	95	7	3	1	1	1	1	2	3	1	6,1	2,0	4,3
F18	96	6	3	1	1	2	1	2	4	1	5,6	2,2	4,1

Deposizione di metalli nella pedemontana pordenonese

Tab. 13 - Concentrazione dei metalli (ppm) nei talli di *Xanthoria parietina* della zona F, e relative statistiche.

Stazione	n. progr.	Cd	Zn	Al	Fe	Mn	Cu	Ca	Cr	Ni	Hg
F1	79	0,540	28,2	400	333	24,0	8,8	1465	2,48	2,56	0,043
F2	80	0,444	28,7	500	426	23,5	13,2	2349	3,13	4,16	0,021
F3	81	0,318	27,5	229	219	17,8	7,6	1443	2,34	2,39	0,046
F4	82	0,386	28,8	609	503	23,0	7,3	1447	2,86	3,58	0,015
F5	83	0,364	31,3	607	511	28,5	6,5	2649	3,16	3,99	0,024
F6	84	0,215	31,0	251	304	41,9	61,0	1675	2,52	3,27	0,081
F7	85	0,433	36,5	510	622	32,0	7,5	2888	3,43	6,85	0,078
F8	86	1,660	33,0	543	515	23,3	6,8	1856	4,16	5,15	0,071
F9	87	0,391	24,8	567	460	26,0	10,7	1235	3,59	4,30	0,091
F10	88	0,601	25,5	227	232	20,3	5,6	1152	2,85	2,58	0,056
F11	89	0,615	24,7	552	503	19,7	9,4	1302	3,34	5,06	0,075
F12	90	0,348	21,7	207	118	8,5	5,7	2656	2,44	3,60	0,098
F13	91	0,678	28,2	199	213	17,9	10,0	1815	2,43	3,27	0,046
F14	92	1,120	26,4	442	395	16,8	4,9	995	2,57	2,63	0,046
F15	93	1,340	25,7	151	154	15,5	4,6	1144	1,71	1,62	0,023
F16	94	0,329	30,4	260	311	20,4	26,2	1516	3,69	3,24	0,044
F17	95	1,500	32,6	126	128	11,1	5,6	2233	1,62	2,45	0,032
F18	96	1,170	35,0	238	267	19,6	5,1	1656	2,05	2,95	0,044
F19	97	0,541	28,5	407	532	20,3	7,0	1438	3,03	5,20	0,028
E14	75	0,355	26,6	687	526	37,8	7,8	1465	3,00	3,70	0,028
Media		0,667	28,8	386	364	22,4	11,1	1719	2,82	3,63	0,050
Dev.st.		0,437	3,7	178	155	8,1	12,7	552	0,65	1,24	0,025
Coeff.var.		65,4	12,9	46,2	42,6	36,0	114,4	32,1	23,2	34,1	50,3
Min.		0,215	21,7	126	118	8,5	4,6	995	1,62	1,62	0,015
Max.		1,660	36,5	687	622	41,9	61,0	2888	4,16	6,85	0,098

Tab. 14 - I dati della tabella 13 sono qui espressi nelle sette classi ordinali di naturalità/alterazione definiti in tabella 1. Per ulteriori dettagli vedi l'inserito "Che cos'è e come si deve leggere la scala di naturalità-alterazione".

Stazione	n. progr.	Cd	Zn	Al	Fe	Mn	Cu	Cr	Ni	Hg	I.N.	C.T.	T.P.
F1	79	4	2	2	2	3	3	3	3	1	2,8	2,6	3,8
F2	80	4	2	2	2	3	4	3	4	1	2,8	3,0	4,1
F3	81	3	2	1	1	2	2	2	3	1	5,6	1,5	3,0
F4	82	3	2	3	3	3	2	3	4	1	2,2	2,8	3,5
F5	83	3	2	3	3	4	2	3	4	1	2,2	3,0	3,5
F6	84	2	2	1	2	5	7	3	4	2	3,3	3,5	4,3
F7	85	3	3	2	3	4	2	3	6	2	1,7	3,5	4,3
F8	86	7	3	3	3	3	2	4	5	2	1,1	4,3	5,7
F9	87	3	1	3	3	3	3	4	5	2	1,7	3,3	4,3
F10	88	4	2	1	1	2	1	3	3	1	5,6	1,7	3,5
F11	89	4	1	3	3	2	3	3	5	2	2,2	3,1	4,3
F12	90	3	1	1	1	1	1	2	4	2	6,7	1,3	3,2
F13	91	4	2	1	1	2	3	2	4	1	5,0	2,0	3,7
F14	92	6	2	2	2	2	1	3	3	1	4,4	2,4	4,1
F15	93	6	2	1	1	1	1	2	2	1	7,2	1,5	3,7
F16	94	3	2	1	2	2	6	4	4	1	3,9	3,0	4,4
F17	95	7	3	1	1	1	1	2	3	1	6,1	2,0	4,3
F18	96	6	3	1	1	2	1	2	4	1	5,6	2,2	4,1
F19	97	4	2	2	3	2	2	3	5	1	3,3	2,8	4,0
E14	75	3	2	3	3	4	2	3	4	1	2,2	3,0	3,5

Alluminio

E' il terzo elemento per abbondanza nella crosta terrestre ed è stato incluso nel presente studio soprattutto per valutare la contaminazione terrigena dei campioni; si tratta infatti di un metallo di bassa tossicità che nei licheni si accumula principalmente negli spazi intercellulari, sotto forma di particellato insolubile. E' un elemento anfotero, fortemente riducente ($E^\circ = -1,66 \text{ V}$) e particolarmente resistente alla corrosione; questa caratteristica, assieme alla sua bassa densità e buona disponibilità, lo rende adatto per la produzione di leghe leggere usate per la costruzione di veicoli, aerei, navi, ecc. Viene inoltre utilizzato nella produzione di vernici e per la carta di alluminio, nonché come mordente nella colorazione di fibre tessili e come impermeabilizzante.

Il valore di background per l'alluminio riscontrato nei talli lichenici in Italia è pari a c. 250 ppm.

Nell'insieme delle sei aree di studio la concentrazione media dell'alluminio è di $331 \pm 193 \text{ ppm}$, il valore minimo è di 104 ppm, decisamente più basso del valore di background, mentre il valore massimo, di 1319 ppm, è stato rilevato nella stazione E9, in una zona molto aperta con evidente sollevamento di polveri; anche il valore massimo non è particolarmente elevato se paragonato ai risultati di analoghe indagini effettuate in Italia. Nel complesso, il valore medio di ciascuna area ricade nelle fasce di naturalità molto alta (A-C), alta (D,F) e media (E). Va sottolineato che nella zona E le stazioni con i valori più elevati si trovano in prossimità di strade sterrate o in aree con affioramenti ghiaiosi, dove è naturale che ci sia un maggior apporto di polveri.

Questo metallo nel complesso non desta alcuna preoccupazione.

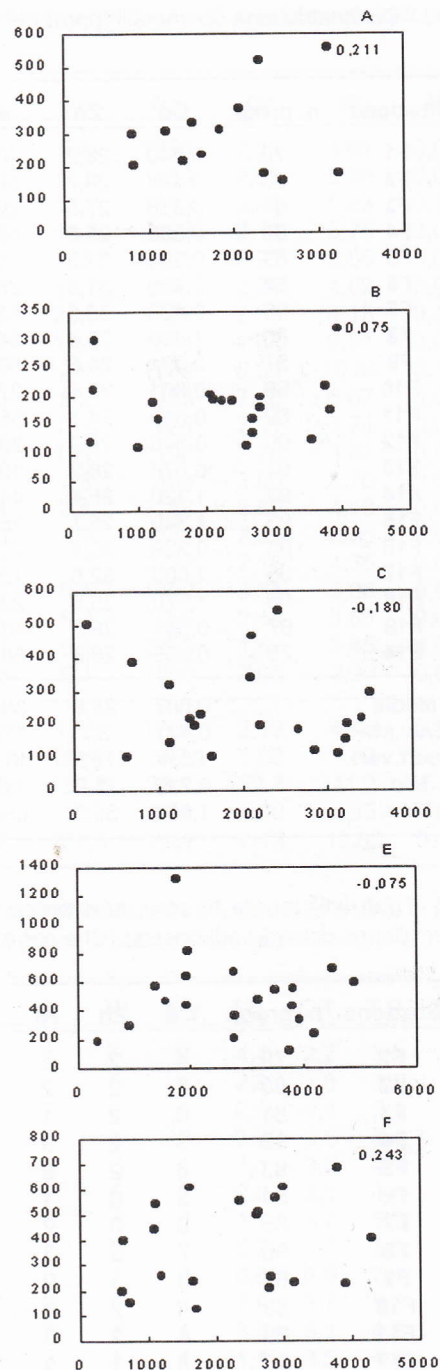


Fig. 13 - Correlazione tra i valori di alluminio misurati nel lichene *Xanthoria parietina* (asse Y, in ppm) e la distanza delle singole stazioni dagli impianti al centro di ciascuna zona d'indagine (asse X, in metri). All'interno di ciascun grafico si riporta il coefficiente di correlazione; i valori statisticamente significativi sono indicati con un asterisco.

Deposizione di metalli nella pedemontana pordenonese

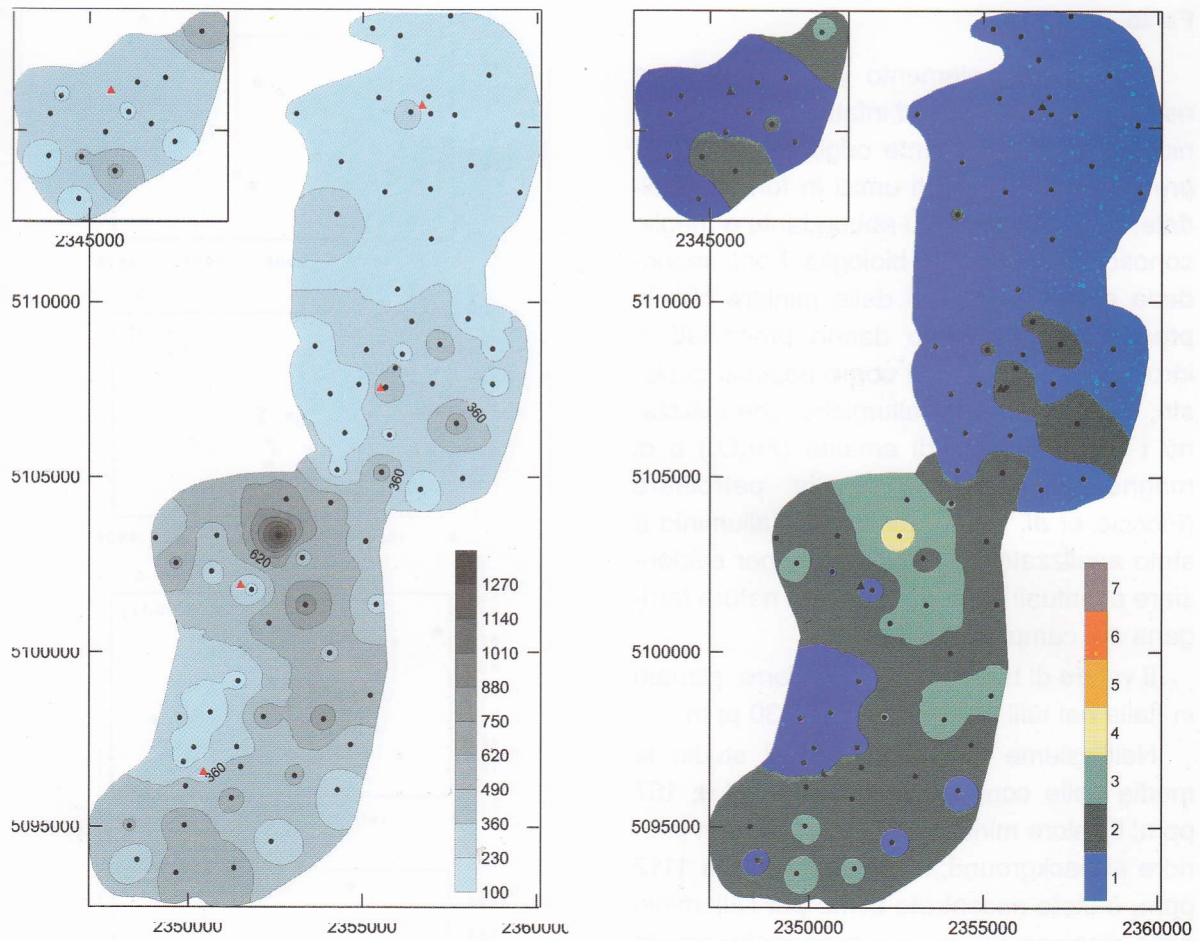


Fig. 14 - Carta della concentrazione di alluminio (ppm, a sinistra) e carta dei livelli di naturalità/alterazione (a destra) nelle stazioni delle aree A, B, C, E ed F. La localizzazione degli impianti è indicata con un triangolo. I numeri a lato del riquadro sono le coordinate Gauss-Boaga utilizzate nella cartografia ufficiale regionale.

Ferro

E' il quarto elemento per abbondanza nella crosta terrestre ed infatti, come l'alluminio, ha prevalentemente origine litogena. E' presente nei composti umici in forma colloidale, ed è il metallo 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 visibili come depositi giallastri, e le industrie metallurgiche, che utilizzano i minerali ricchi di ematite (Fe_2O_3) o di magnetite (Fe_3O_4) e quelle petrolifere (Floccia *et al.* 1985). Insieme all'alluminio è stato analizzato nei talli lichenici per evidenziare eventuali contaminazioni di natura terrigena dei campioni.

Il valore di background per il ferro, stimato in Italia nei talli lichenici, è di c. 230 ppm.

Nell'insieme delle sei aree di studio la media delle concentrazioni è di 361 ± 167 ppm; il valore minimo è di 118 ppm, ben inferiore al background; il massimo, pari a 1112 ppm, è stato riscontrato come per l'alluminio nella stazione E9, in una zona molto aperta con evidente sollevamento di polveri.

Il valore medio delle singole aree ricade nella fascia di naturalità molto alta (zona B), alta (zone A, C, F) e media (D,E). Anche in questo caso la contaminazione del territorio è dunque molto ridotta, probabilmente a causa delle intense precipitazioni che riducono considerevolmente il sollevamento di polveri soprattutto nella parte più settentrionale dell'area di indagine. Non sono evidenziabili sorgenti di origine antropica, con l'esclusione forse della zona industriale del Cosa (zona C).

Questo metallo nel complesso non desta alcuna preoccupazione.

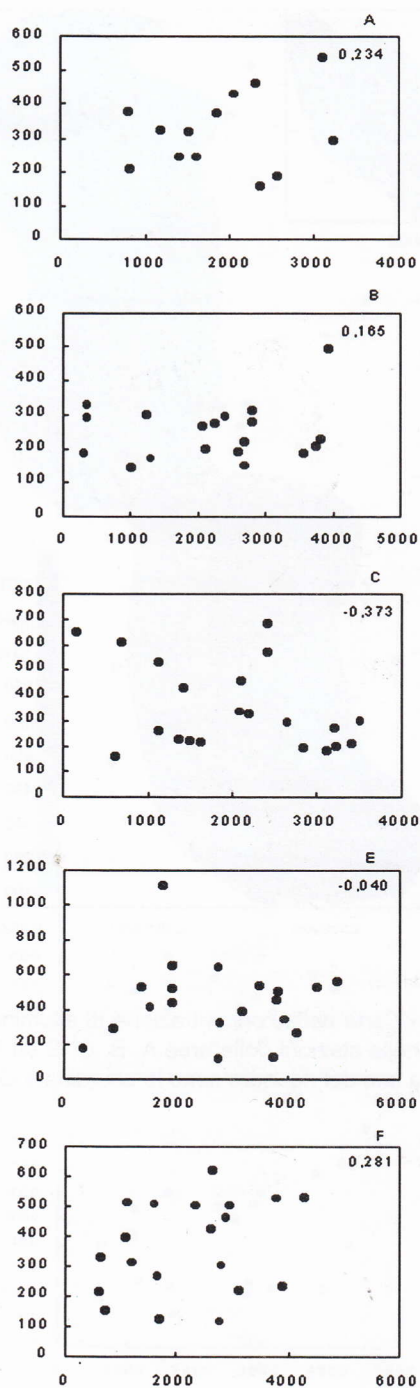


Fig. 15 - Correlazione tra i valori di ferro misurati nel lichene *Xanthoria parietina* (asse Y, in ppm) e la distanza delle singole stazioni dagli impianti al centro di ciascuna zona d'indagine (asse X, in metri). All'interno di ciascun grafico si riporta il coefficiente di correlazione; i valori statisticamente significativi sono indicati con un asterisco.

Deposizione di metalli nella pedemontana pordenonese

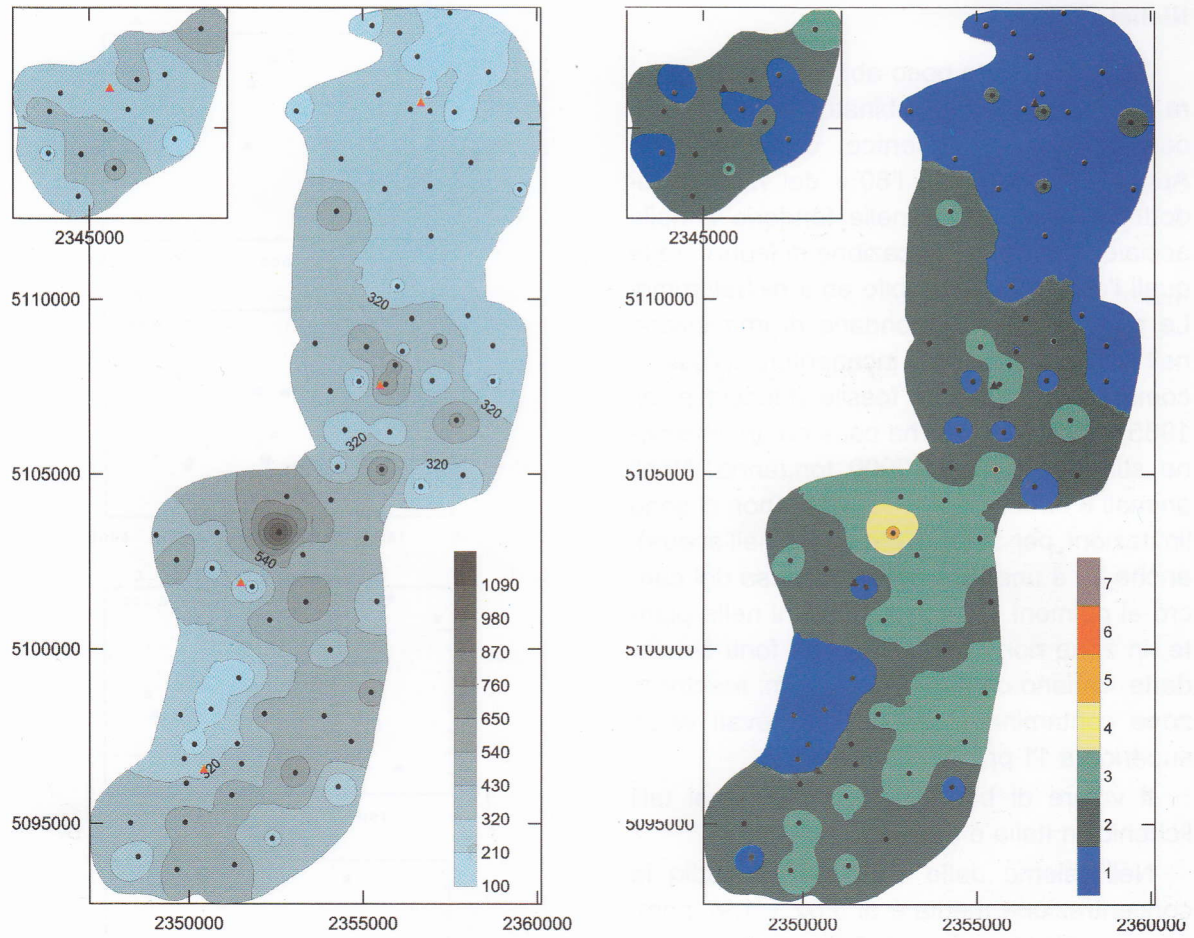


Fig. 16 - Carta della concentrazione di ferro (ppm, a sinistra) e carta dei livelli di naturalità/alterazione (a destra) nelle stazioni delle aree A, B, C, E ed F. La localizzazione degli impianti è indicata con un triangolo. I numeri a lato del riquadro sono le coordinate Gauss-Boaga utilizzate nella cartografia ufficiale regionale.

Nichel

È un elemento poco abbondante in natura, che si presenta combinato principalmente con lo zolfo, l'arsenico e l'antimonio. Approssimativamente l'80% del nichel prodotto viene utilizzato nelle fonderie e nelle acciaierie per la fabbricazione di leghe, fra le quali l'acciaio inossidabile ed il nichelcromo. Le principali fonti secondarie di immissione nell'ambiente sono gli inceneritori e l'uso di combustibili di origine fossile (Floccia *et al.* 1985), il cui aumento ha causato un'emissione stimata di circa 70000 ton./anno. Negli animali è dubbia la sua tossicità (non ci sono limitazioni per la sua presenza nell'acqua), anche se è una probabile concausa del cancro ai polmoni. Le concentrazioni nelle piante, in zone non contaminate da fonti secondarie, variano da 0,20 a 3,00 ppm, mentre in zone contaminate sono state rilevati valori superiori a 11 ppm (Adriano 1986).

Il valore di background rilevato nei talli lichenici in Italia è di c. 0,50 ppm.

Nell'insieme delle sei aree di studio la concentrazione media è di $3,02 \pm 1,97$ ppm, con un valore minimo di 0,64 ppm, appena superiore al valore di background, e un valore massimo particolarmente elevato (anche se non il più alto in assoluto in Italia), pari a circa 17 volte il valore minimo (10,85 ppm, stazione E9).

Anche nel caso del nichel si nota una chiara differenza tra le zone A e B, con valori di contaminazione molto bassi, e le zone C, E ed F, con valori di alterazione più elevati. In quest'ultimo caso sono individuabili due settori distinti, legati evidentemente a sorgenti diverse: la zona industriale del Cosa (zona C), e la porzione orientale delle zone E ed F. Nella prima area esistono effettivamente delle attività produttive legate alla lavorazione di leghe che potrebbero essere coinvolte nel rilascio di questo metallo nell'ambiente, a cui andrebbe sommata l'attività pregressa di

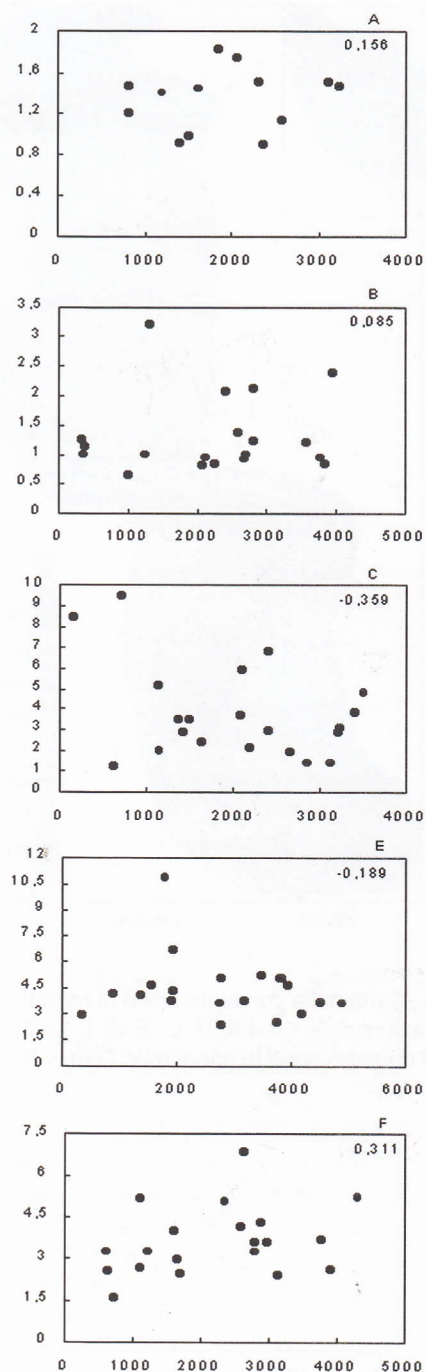


Fig. 17 - Correlazione tra i valori di nichel misurati nel lichene *Xanthoria parietina* (asse Y, in ppm) e la distanza delle singole stazioni dagli impianti al centro di ciascuna zona d'indagine (asse X, in metri). All'interno di ciascun grafico si riporta il coefficiente di correlazione; i valori statisticamente significativi sono indicati con un asterisco.

Deposizione di metalli nella pedemontana pordenonese

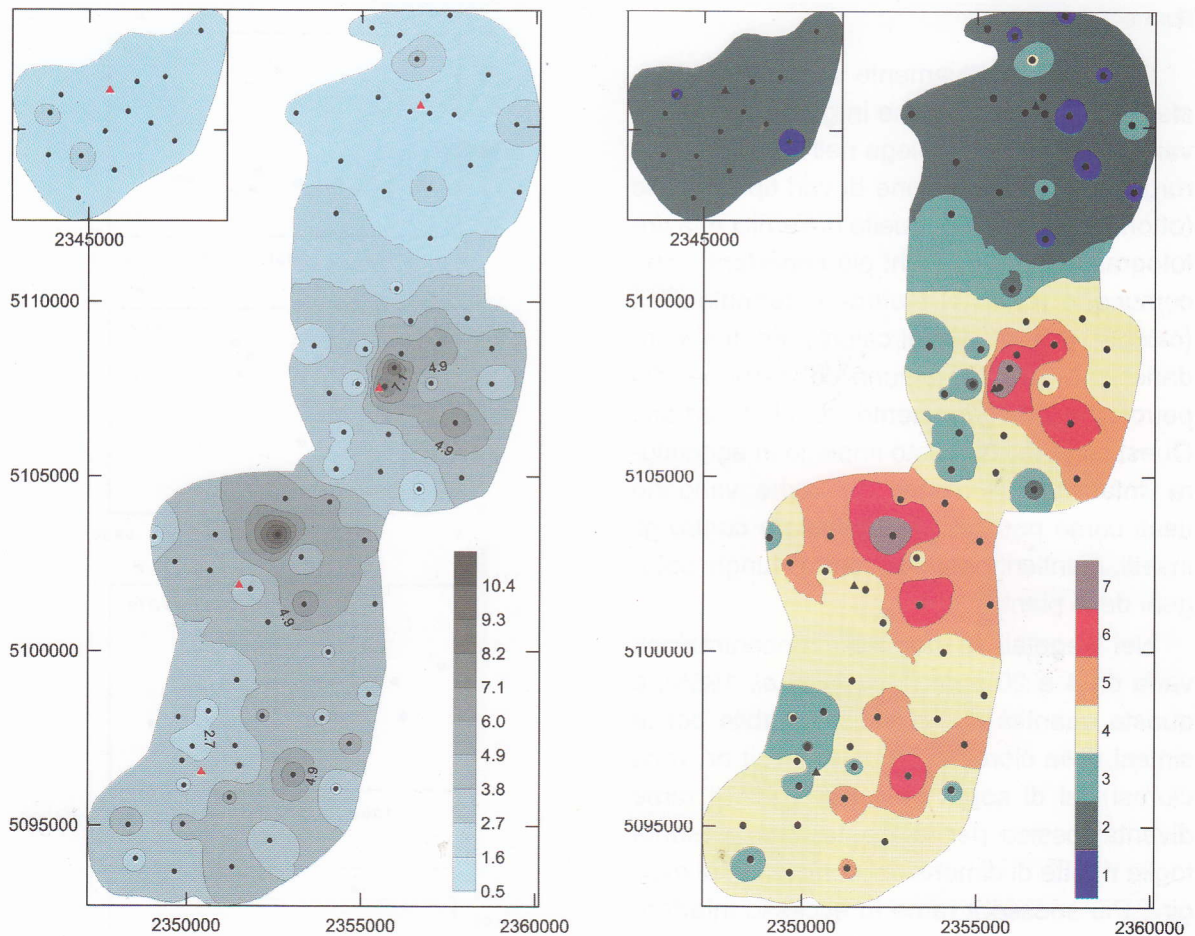


Fig. 18 - Carta della concentrazione di nichel (ppm, a sinistra) e carta dei livelli di naturalità/alterazione (a destra) nelle stazioni delle aree A, B, C, E ed F. La localizzazione degli impianti è indicata con un triangolo. I numeri a lato del riquadro sono le coordinate Gauss-Boaga utilizzate nella cartografia ufficiale regionale.

un inceneritore. E' più problematico spiegare invece l'alterazione del secondo settore, che è a forte vocazione agricola. Almeno in parte gli elevati valori di contaminazione potrebbero essere dovuti ad un incremento dell'apporto terrigeno dovuto al sollevamento di polveri, in quanto le stazioni che hanno i valori più elevati di nichel hanno anche valori particolarmente elevati di alluminio e ferro, trovandosi spesso in prossimità di strade sterrate (si confrontino a questo proposito le Figg. 14 e 16). L'entità della contaminazione e la vastità del fenomeno inducono però a sospettare che la sorgente sia un impianto

industriale che usa combustibile fossile, tanto più che il pattern distributivo di questo metallo ha una direzione prevalente N-S, in accordo con i venti predominanti nella zona.

La contaminazione della zona di indagine risulta nel complesso piuttosto pronunciata. Sono però necessarie ulteriori indagini per individuare con certezza le fonti inquinanti e prendere quindi dei provvedimenti migliorativi. Si suggerisce di dare priorità alla zona C, comprendente l'area densamente popolata di Spilimbergo, in vista di un suo possibile peggioramento dovuto all'entrata in funzione del nuovo inceneritore.

Rame

Elemento relativamente scarso nella litosfera (0,01%), si rinviene in giacimenti relativamente ricchi. Si impiega nell'industria siderurgica per la produzione di vari tipi di leghe (ottone, bronzo), e in quella di vernici e lastre fotografiche; gli impieghi più importanti sono comunque legati all'elettro- e termotecnica (caldaie, scambiatori di calore). Fonti secondarie sono la combustione del carbone, del petrolio e l'incenerimento di rifiuti urbani. Questo metallo ha vasto impiego in agricoltura, infatti vari composti del rame vengono usati come pesticidi, in particolare contro gli insetti, e anticrittogamici, contro i funghi patogeni delle piante.

Nei vegetali la normale concentrazione varia da 4 a 20 ppm (Floccia *et al.* 1985), e questa quantità risulta indispensabile per la sintesi della clorofilla (un suo deficit provoca clorosi); al di sopra di questi valori il rame diventa tossico per la pianta, che presenta foglie ridotte di dimensioni con clorosi ai margini. Più spesso il rame in eccesso interferisce con il metabolismo dell'azoto dei microrganismi azoto-fissatori, e riduce l'assorbimento del potassio. Questo elemento risulta scarsamente tossico per gli animali e quindi anche per l'uomo (è un micronutriente essenziale: sono necessari circa 200 mg/giorno, Floccia *et al.* 1985).

Nei licheni il rame si ritrova soprattutto a livello superficiale (Nieboer *et al.* 1978).

In Italia il valore di background del rame riscontrato nei talli lichenici è di 4,40 ppm.

Nell'insieme delle sei aree di studio il valore medio del rame è di $9,42 \pm 14,11$ ppm, il valore minimo di 2,54 ppm, considerevolmente inferiore al valore di background, e il valore massimo di 124,5 ppm, riscontrato nella stazione E9.

La contaminazione del territorio risulta

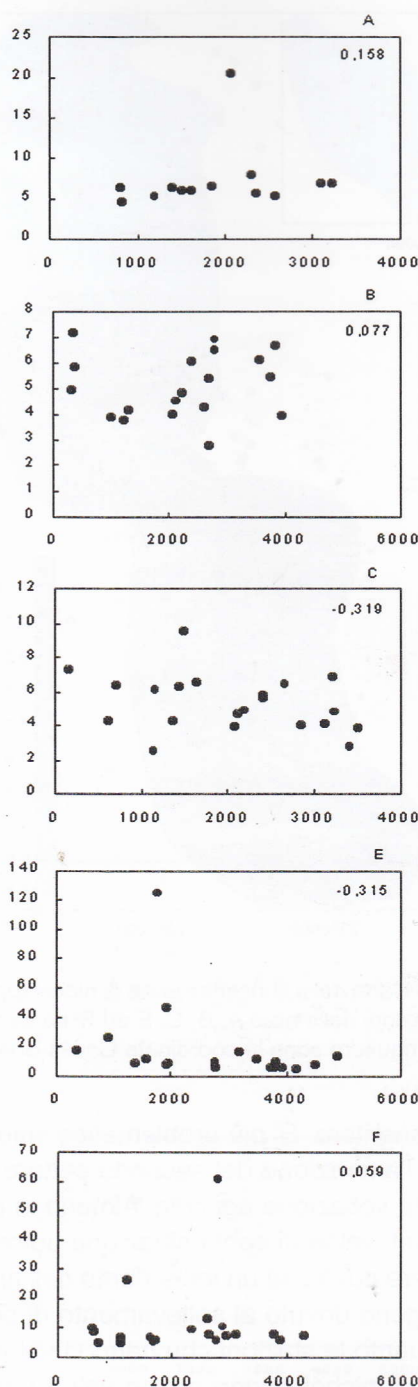


Fig. 19 - Correlazione tra i valori di rame misurati nel lichene *Xanthoria parietina* (asse Y, in ppm) e la distanza delle singole stazioni dagli impianti al centro di ciascuna zona d'indagine (asse X, in metri). All'interno di ciascun grafico si riporta il coefficiente di correlazione; i valori statisticamente significativi sono indicati con un asterisco.

Deposizione di metalli nella pedemontana pordenonese

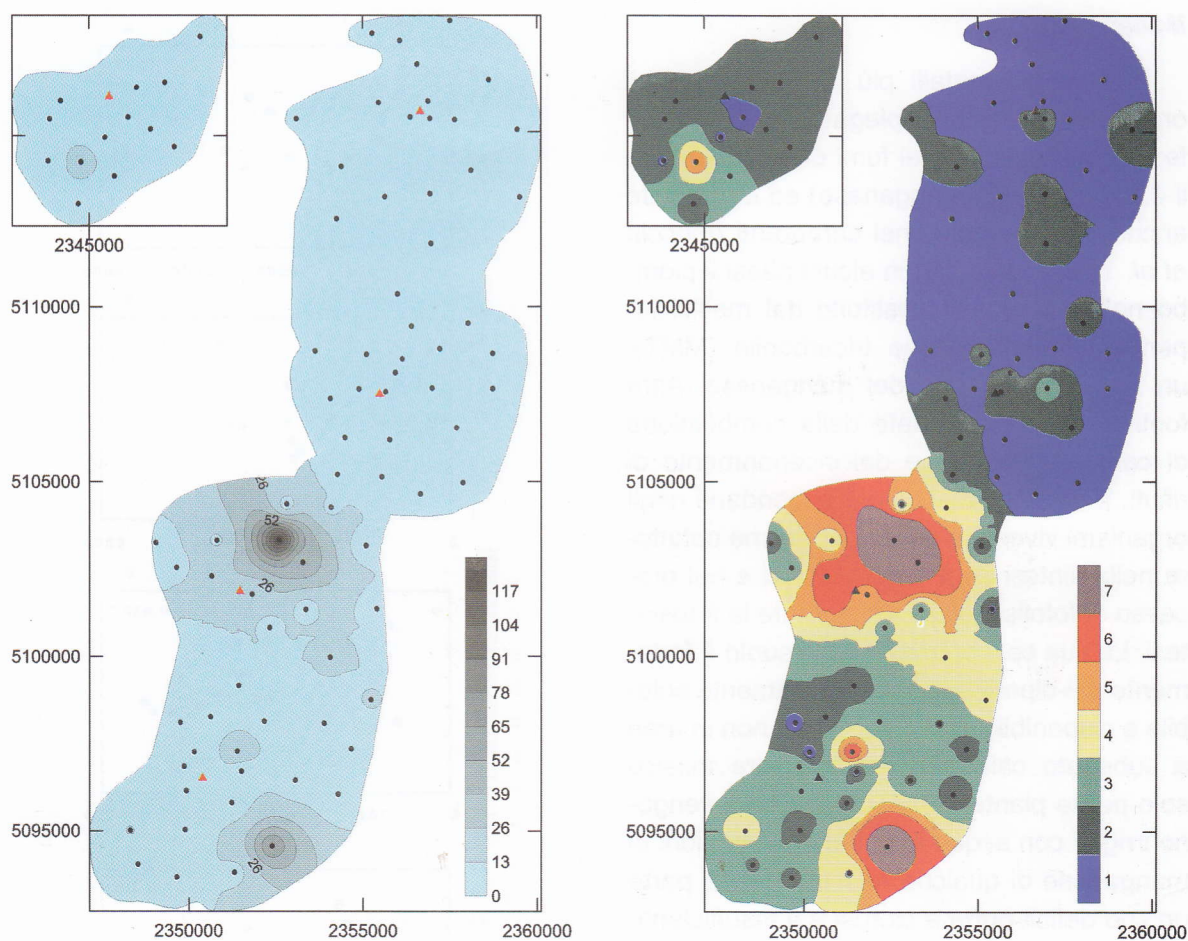


Fig. 20 - Carta della concentrazione di rame (ppm, a sinistra) e carta dei livelli di naturalità/alterazione (a destra) nelle stazioni delle aree A, B, C, E ed F. La localizzazione degli impianti è indicata con un triangolo. I numeri a lato del riquadro sono le coordinate Gauss-Boaga utilizzate nella cartografia ufficiale regionale.

generalmente molto ridotta nella parte più settentrionale, per aumentare di intensità a sud, con un evidente massimo nell'area E, dove si pratica un'agricoltura di tipo intensivo, e dove è particolarmente diffusa la coltura della vite, con numerosi vivai. Qui l'alterazione più grave è circoscritta a tre stazioni, che si collocano all'interno di comprensori agricoli. E' molto probabile che la contaminazione in questo caso sia dovuta a ripetuti, pesanti trattamenti anti-crittogamici, che

hanno in questo caso una pesante ricaduta ambientale.

Il valore medio misurato nelle singole aree di indagine ricade nelle fasce di naturalità alta (zone A-C), media (zona D), bassa (zona F), e molto alta (zona E). La contaminazione in un numero ridotto di stazioni è superiore al 98° percentile della scala nazionale (Fig. 36), ma va sottolineato che la stragrande maggioranza delle stazioni hanno valori di contaminazione che ricadono nelle prime due classi.

Manganese

E' uno dei metalli più abbondanti negli organismi viventi. Si impiega nell'industria del ferro e dell'acciaio (nei fumi c'è mediamente il 4% di ossido di manganese) ed è presente anche come additivo nei carburanti (Floccia *et al.* 1985), in quanto in alcuni paesi il piombo nelle benzine è sostituito dal metilciclo-pentadienil manganese tricarbonile (MMT), un derivato organico del manganese. Altre fonti sono rappresentate dalla combustione di carbone, petrolio e dall'incenerimento di rifiuti. E' uno dei metalli più abbondanti negli organismi viventi: è essenziale come cofattore nella sintesi degli acidi nucleici e nel processo di fotolisi dell'acqua durante la fotosintesi. La sua concentrazione nel suolo è fortemente pH-dipendente: è estremamente solubile e disponibile in suoli acidi ma non in aree a substrato calcareo. Può risultare tossico solo per le piante, quando suoli acidi vengono irrigati con acque aventi concentrazioni di manganese di qualche mg/litro, d'altra parte un suo deficit porta a clorosi e a insufficiente accrescimento fogliare. Il manganese è l'unico elemento presente in minore misura nel lichene che nelle foglie di piante superiori (Tuominen & Jaakkola, 1973), tanto che Puckett (1988) ritiene che briofite e licheni non siano dei buoni indicatori per questo elemento. Nel presente studio è stato considerato, così come ferro ed alluminio, soprattutto per valutare l'eventuale contaminazione terrigena nei campioni, e l'eventuale emissione da inceneritori o processi di combustione.

Il valore di background rilevato nei talli lichenici in Italia è di c. 12,50 ppm.

Nell'insieme delle sei aree di studio la concentrazione media del manganese è di 21,37 ppm. Il valore minimo (8,5 ppm) è leggermente più basso quindi del valore di background. Il valore massimo, corrispondente a

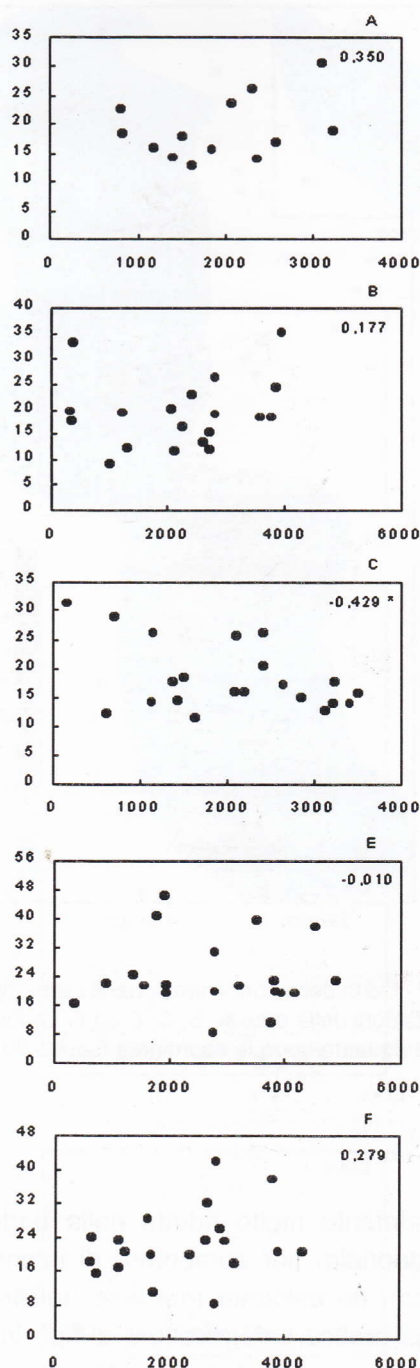


Fig. 21 - Correlazione tra i valori di manganese misurati nel lichene *Xanthoria parietina* (asse Y, in ppm) e la distanza delle singole stazioni dagli impianti al centro di ciascuna zona d'indagine (asse X, in metri). All'interno di ciascun grafico si riporta il coefficiente di correlazione; i valori statisticamente significativi sono indicati con un asterisco.

Deposizione di metalli nella pedemontana pordenonese

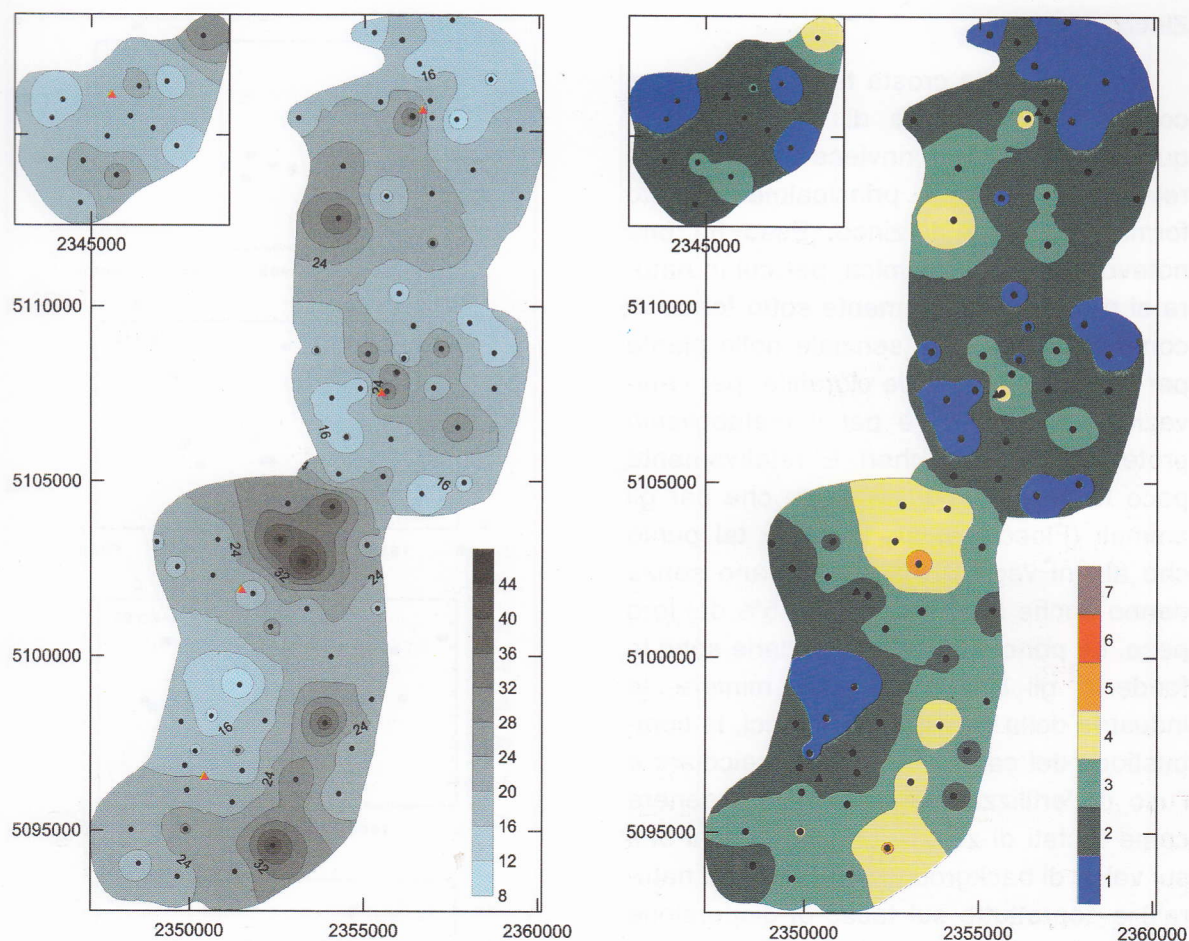


Fig. 22 - Carta della concentrazione di manganese (ppm, a sinistra) e carta dei livelli di naturalità/alterazione (a destra) nelle stazioni delle aree A, B, C, E ed F. La localizzazione degli impianti è indicata con un triangolo. I numeri a lato del riquadro sono le coordinate Gauss-Boaga utilizzate nella cartografia ufficiale regionale.

46,2 ppm, è stato rilevato nella stazione E4, all'interno di un'ampia zona agricola.

Nel caso di questo metallo si può affermare che esso permette di individuare quali fonti di immissione (per quanto limitate), alcuni impianti oggetto di questo studio. Infatti dei massimi relativi si trovano nelle immediate prossimità del cementificio Unicem di Travesio (zona B), e della zona industriale del Cosa (zona C), dove è situato l'inceneritore Mistral. La contaminazione abbastanza sostenuta nella porzione orientale delle zone E ed F potrebbe essere legata anch'essa, come nel caso del nichel, all'attività industria-

le di un grosso impianto industriale. Va comunque sottolineato che i valori particolarmente elevati delle stazioni E3, E4 ed E9 sono probabilmente almeno in parte dovuti a una contaminazione terrigena, in quanto in quelle stesse stazioni si registrano valori elevati di alluminio e ferro.

Il valore medio misurato nelle singole aree di indagine ricade nelle fasce di naturalità molto alta (zona B), alta (zone A, C, F) e media (zone D, E). La contaminazione del territorio risulta quindi piuttosto ridotta. Considerata la sua scarsa pericolosità, questo metallo non desta preoccupazione.

Zinco

Presente nella crosta terrestre con una concentrazione media di circa 40 ppm, questo elemento si rinviene in giacimenti relativamente ricchi, principalmente sotto forma di solfuro di zinco. Esso ha una notevole reattività chimica, per cui in natura si ritrova esclusivamente sotto forma di composto. Esso è essenziale nelle piante per la formazione delle clorofille, per l'attivazione enzimatica e per il metabolismo proteico e degli zuccheri. E' relativamente poco tossico sia per le piante che per gli animali (Floccia *et al.* 1985), a tal punto che alcuni vegetali ne accumulano senza danno anche quantità pari al 15% del loro peso. Le principali fonti secondarie sono le fonderie, gli inceneritori e le miniere, le industrie della gomma e di vernici, la combustione del carbone, il traffico veicolare e l'uso di fertilizzanti e pesticidi (in genere come fosfati di zinco). Esistono pochi dati sui valori di background in ecosistemi naturali, e soprattutto sul tasso di dispersione nell'ambiente: sembra che lo zinco abbia un tasso di dispersione piuttosto elevato, strettamente correlato con l'entità delle precipitazioni, arrivando fino a 35 km di distanza dalla fonte di emissione.

Le concentrazioni rilevate nelle piante superiori in ecosistemi naturali variano da 29 a 169 ppm; valori fino a 354 ppm sono state rilevate in aree contaminate.

Nei licheni lo Zn si accumula intracellularmente, provocando ad elevate concentrazioni una forte depressione della respirazione (Nash 1975). L'assorbimento è in funzione del pH, a causa di fenomeni competitivi per i siti di legame da parte di altri cationi.

Il valore di background riscontrato nei talli lichenici in Italia è di 13,65 ppm.

Nell'insieme delle sei aree di studio la

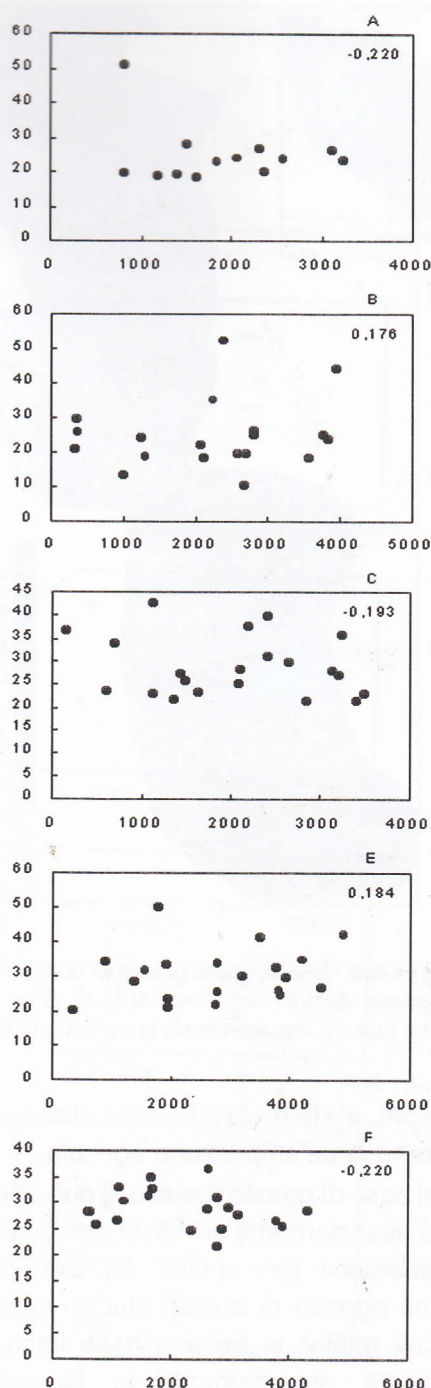


Fig. 23 - Correlazione tra i valori di zinco misurati nel lichene *Xanthoria parietina* (asse Y, in ppm) e la distanza delle singole stazioni dagli impianti al centro di ciascuna zona d'indagine (asse X, in metri). All'interno di ciascun grafico si riporta il coefficiente di correlazione; i valori statisticamente significativi sono indicati con un asterisco.

Deposizione di metalli nella pedemontana pordenonese

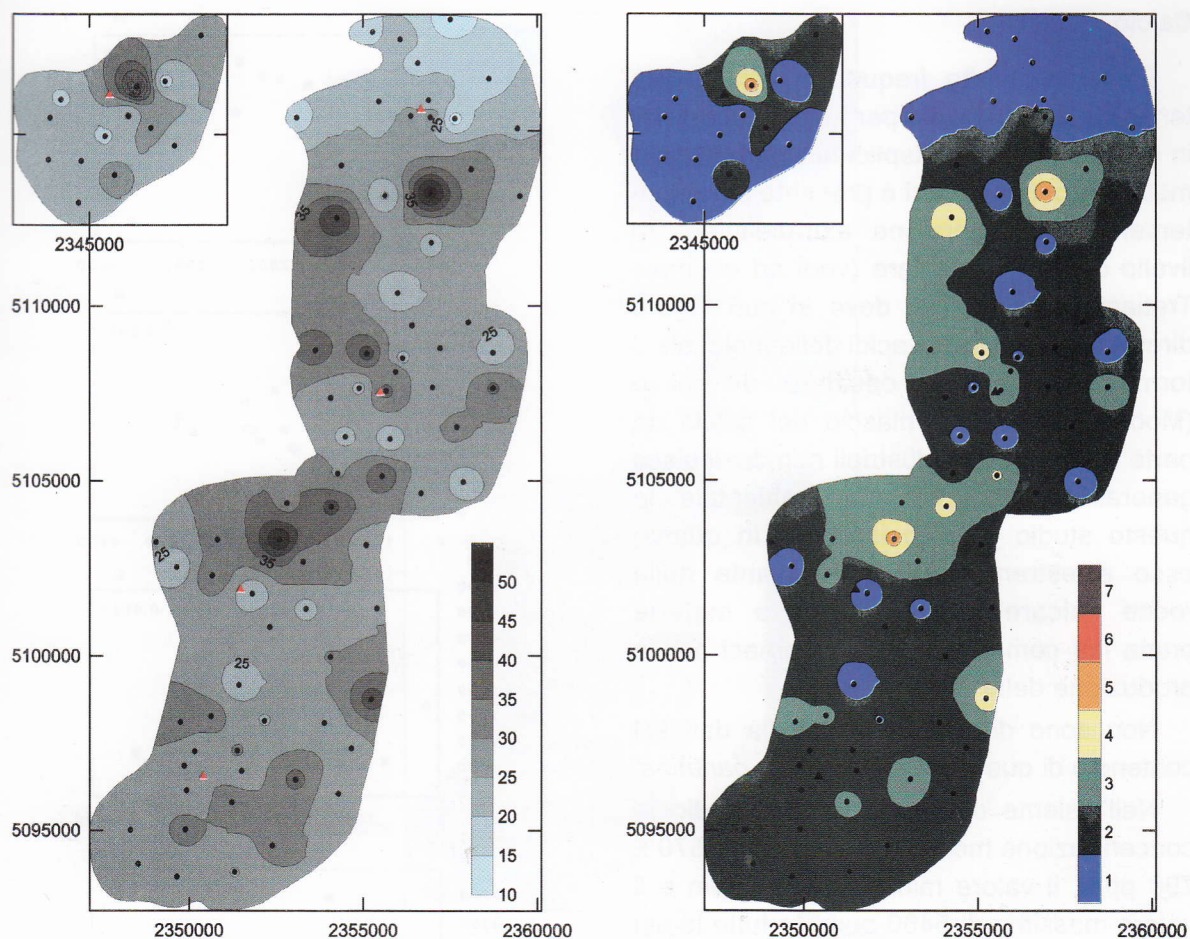


Fig. 24 - Carta della concentrazione di zinco (ppm, a sinistra) e carta dei livelli di naturalità/alterazione (a destra) nelle stazioni delle aree A, B, C, E ed F. La localizzazione degli impianti è indicata con un triangolo. I numeri a lato del riquadro sono le coordinate Gauss-Boaga utilizzate nella cartografia ufficiale regionale.

concentrazione media dello zinco è di 28,06 ppm, il valore minimo di 10,4 ppm, appena inferiore al valore di background, e il valore massimo di 52,2 ppm, che è stato rilevato nella stazione B16, in talli raccolti all'interno di un marmificio. Altre stazioni con valori elevati di questo elemento sono: A52, B21, C20-21, D1-2, ed E3-9. Quasi tutte queste stazioni sono collocate negli immediati pressi di colture viticole, piccoli frutteti o giardini. Anche in questo caso i ripetuti trattamenti delle colture con antiparassitari e/o fertiliz-

zanti potrebbero costituire la fonte di un inquinamento localizzato ma non per questo meno pericoloso.

Il valore medio misurato nelle singole aree di indagine ricade nelle fasce di naturalità molto alta (zone A, B), alta (zone C, F) e media (zone D, E). La contaminazione del territorio - di origine eterogenea - risulta quindi abbastanza ridotta se confrontata con quella di altre parti d'Italia. Nessuna stazione ha valori superiori al 95° percentile della scala nazionale (Fig. 36).

Calcio

Elemento molto frequente nella crosta terrestre, è necessario per tutti gli organismi in quanto svolge molteplici funzioni a livello metabolico. Nei licheni è presente prevalentemente nella porzione extracellulare, a livello di parete cellulare (vedi ad esempio Tretiach *et al.* 1999), dove si può legare direttamente ai gruppi acidi delle molecole o formare cristalli di ossalato di calcio (Modenesi 1993). Il rilascio del calcio da parte dei processi industriali non costituisce generalmente un problema ambientale. In questo studio è stato indagato in quanto esso è estremamente abbondante nelle rocce calcaree utilizzate come materia prima nei cementifici e nelle fornaci per la produzione della calce.

Non sono disponibili per l'Italia dati sul contenuto di questo elemento in *X. parietina*.

Nell'insieme delle sei aree di studio la concentrazione media del calcio è di 1570 ± 790 ppm, il valore minimo di 800 ppm e il valore massimo di 5460 ppm. In tutte le sei aree non sono mai stati messi in evidenza dei pattern distributivi che potessero essere associati all'emissione di polveri da parte dei vari impianti al centro di questa indagine. Ciò è tanto più significativo se si pensa che quattro di essi trasformano materiale calcareo, ovviamente molto ricco in calcio. Ciò è forse dovuto alle elevate precipitazioni della zona, che aumentando in direzione nord determinano un maggiore dilavamento del particolato depositato sulla superficie dei talli nelle zone A e B. Contaminazioni localizzate sono senza dubbio dovute a situazioni particolari: ad esempio, nei pressi della stazione C2' al momento del campionamento venivano effettuati lavori di scavo, mentre la stazione E4 si trova a ridosso di una strada sterrata.

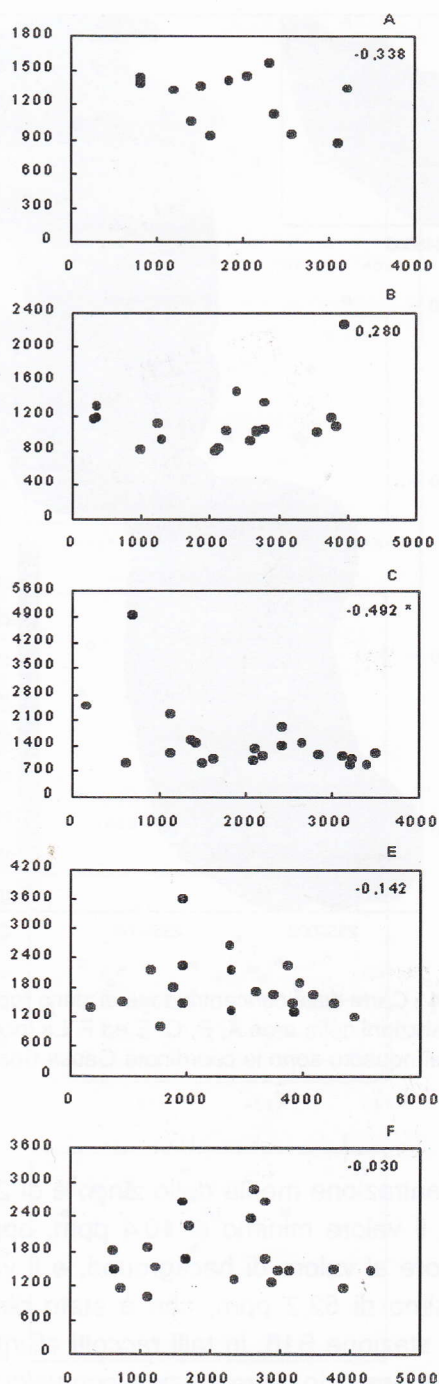


Fig. 25 - Correlazione tra i valori di calcio misurati nel lichene *Xanthoria parietina* (asse Y, in ppm) e la distanza delle singole stazioni dagli impianti al centro di ciascuna zona d'indagine (asse X, in metri). All'interno di ciascun grafico si riporta il coefficiente di correlazione; i valori statisticamente significativi sono indicati con un asterisco.

Deposizione di metalli nella pedemontana pordenonese

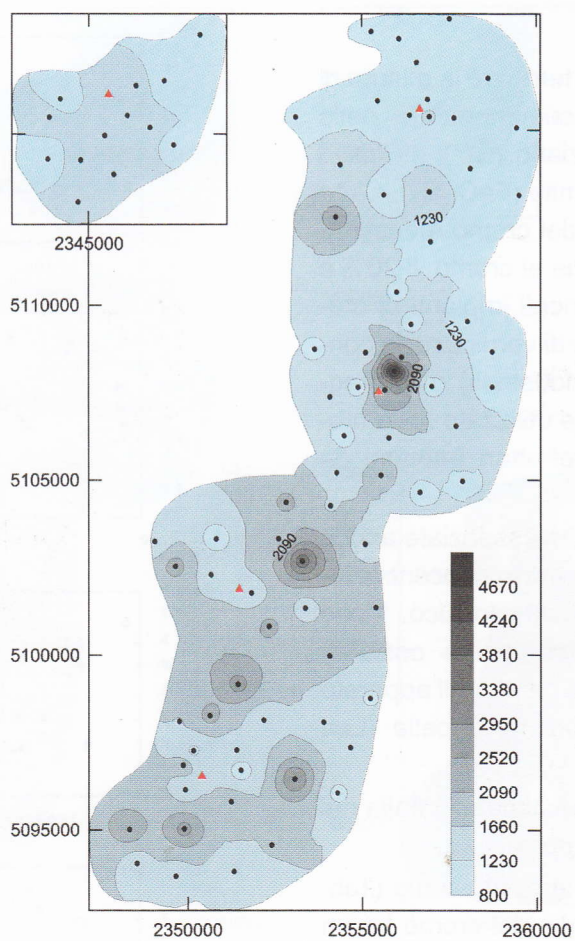


Fig. 26 - Carta della concentrazione di calcio (ppm, a sinistra) nelle stazioni delle aree A, B, C, E ed F. La localizzazione degli impianti è indicata con un triangolo. I numeri a lato del riquadro sono le coordinate Gauss-Boaga utilizzate nella cartografia ufficiale regionale. La mancanza di valori di riferimento per altre zone d'Italia non ha reso possibile la stesura della carta dei livelli di naturalità/alterazione.

Cromo

Presente nella crosta terrestre in misura di 80-200 ppm, si trova comunemente nello stato di ossidazione terziario (Cr^{III}); si ricava principalmente dalla cromite (FeCr_2O_4). Circa il 60% della produzione del cromo è destinato alla produzione di leghe al cromo, il 20% è utilizzato a fini chimici (negli impianti di cromatura, nella produzione di vernici, nelle concerie, cartiere, tintorie industriali) e la maggior parte del rimanente è utilizzato nella fabbricazione di materiali refrattari (mattoni da forno).

In tracce il cromo risulta essenziale anche alla nutrizione dell'uomo, ma in concentrazioni elevate esso è fortemente tossico. Molto pericoloso è il cromo fortemente ossidato (Cr^{VI}), che può provocare cancro all'apparato respiratorio ed ulcerazioni della pelle (Lee 1972).

Il valore di background stimato in Italia nei talli lichenici è di c. 0,98 ppm.

Nell'insieme delle sei aree di studio (Tab. 2) la concentrazione media del cromo ha un valore di $3,14 \pm 1,51$ ppm, un valore minimo di 1,0 ppm, in buon accordo con il valore di background, e un valore massimo di 9,59 ppm, riscontrato nella stazione A9, presso una coltelleria a conduzione familiare. I valori medi delle aree ricadono nelle fasce di naturalità alta (zona B), media (zone C-F) e bassa (zona A). Quest'ultima zona è interessata da valori di contaminazione generalmente elevati, soprattutto nella porzione tra la zona industriale e la strada statale "Spilimberghese", mentre la situazione migliora decisamente nella sua parte nord-orientale, in accordo con i bassi valori di contaminazione dell'intera zona B. Nelle zone meridionali, come nel caso del nichel, è possibile evidenziare un massimo relativo in prossimità della zona industriale del Cosa

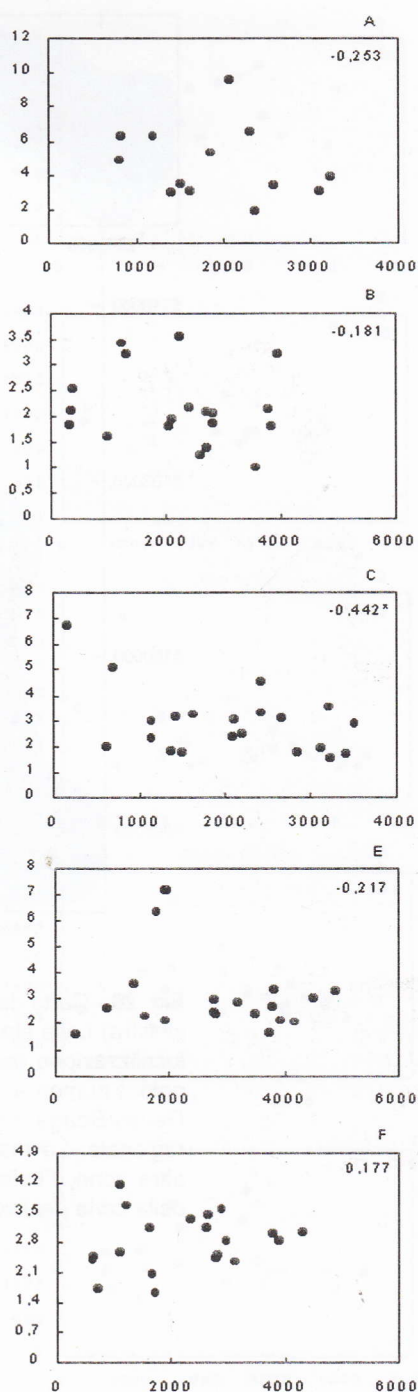


Fig. 27 - Correlazione tra i valori di cromo misurati nel lichene *Xanthoria parietina* (asse Y, in ppm) e la distanza delle singole stazioni dagli impianti al centro di ciascuna zona d'indagine (asse X, in metri). All'interno di ciascun grafico si riporta il coefficiente di correlazione; i valori statisticamente significativi sono indicati con un asterisco.

Deposizione di metalli nella pedemontana pordenonese

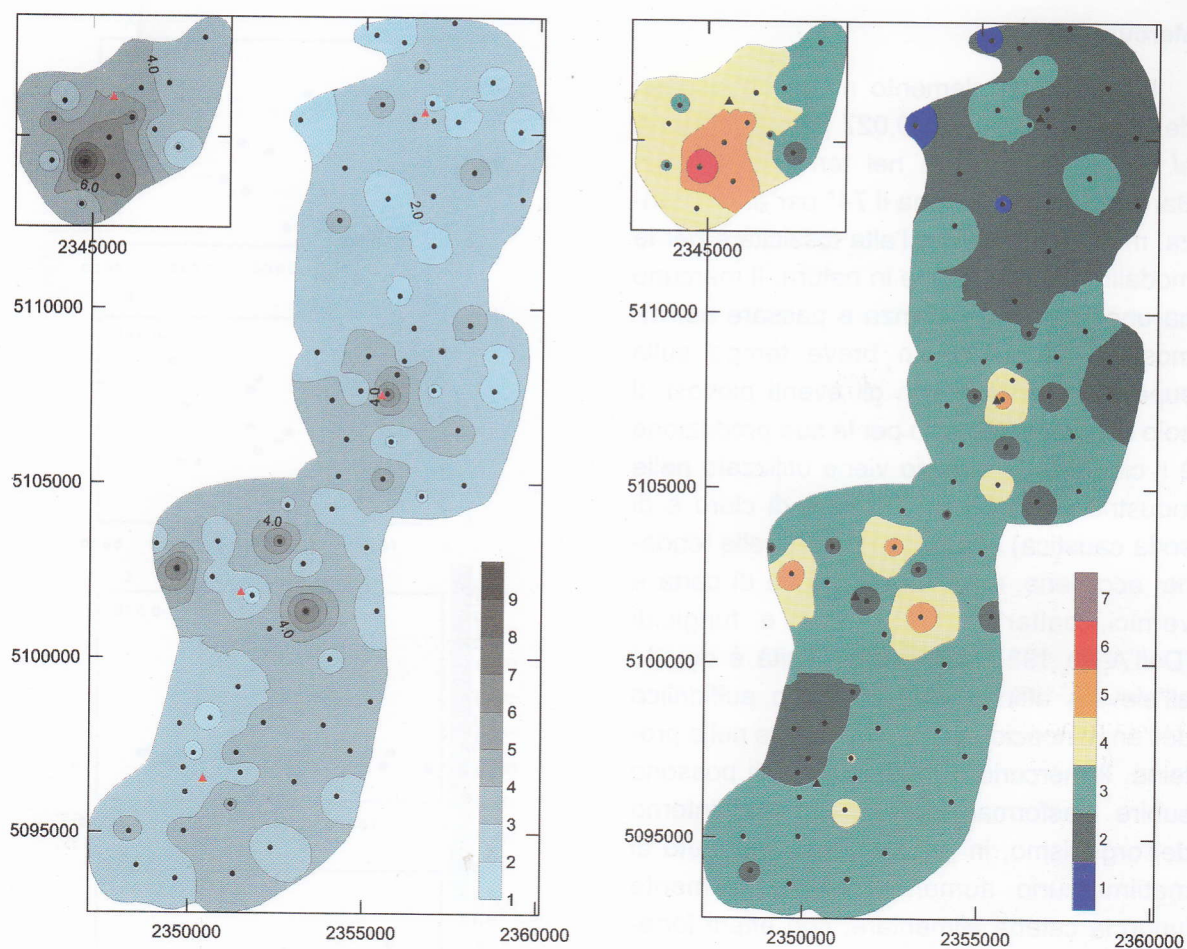


Fig. 28 - Carta della concentrazione di cromo (ppm, a sinistra) e carta dei livelli di naturalità/alterazione (a destra) nelle stazioni delle aree A, B, C, E ed F. La localizzazione degli impianti è indicata con un triangolo. I numeri a lato del riquadro sono le coordinate Gauss-Boaga utilizzate nella cartografia ufficiale regionale.

(zona C) e una contaminazione piuttosto generalizzata dell'intero settore orientale delle zone E ed F. Andrebbe verificato anche in questo caso la possibilità di un rilascio nell'ambiente da parte di processi produttivi che usano grandi quantità di combustibili fossili.

Sebbene nessuna delle 97 stazioni inda-

gate ricada nella classe più elevata di alterazione, va sottolineato che la contaminazione da cromo è piuttosto diffusa in tutta la zona di indagine, tanto più che questo è il metallo con il più basso numero di stazioni nella classe corrispondente al 20° percentile della scala nazionale (Fig. 36).

Mercurio

È uno degli elementi meno abbondanti della crosta terrestre (0,027 ppm, Floccia *et al.* 1985; 0,015 ppm nel territorio italiano, Bargagli *in litt.*), appena il 74° per abbondanza, ma importante per l'alta tossicità e per le modalità di circolazione in natura. Il mercurio ha una spiccata tendenza a passare nell'atmosfera, ritornando in breve tempo sulla superficie terrestre con gli eventi piovosi. Il solo minerale utilizzato per la sua produzione è il cinabro. Il mercurio viene utilizzato nelle industrie chimiche (produzione di cloro e di soda caustica) e petrolchimiche, nelle fonderie, acciaierie, nella fabbricazione di carta e vernici, batterie, e insetticidi e fungicidi (Dell'Aglio 1988). La sua tossicità è dovuta all'elevata affinità con il gruppo sulfidrilico dell'amminoacido cisteina presente nelle proteine. Il mercurio e i suoi composti possono subire trasformazioni biologiche all'interno dell'organismo, in particolare il contenuto di metilmercurio aumenta progressivamente lungo la catena alimentare, con effetti fortemente tossici per gli organismi che si trovano in cima alla catena trofica. Nei vegetali a elevate concentrazioni determina una riduzione dell'attività fotosintetica.

Il valore di background rilevato nei talli lichenici in Italia è di 0,06 ppm.

Nell'insieme delle sei aree di studio la concentrazione media del mercurio è di $0,083 \pm 0,011$ ppm, appena superiore al valore di background nazionale, con un valore minimo di 0,011 ppm. Questo metallo presenta un picco di contaminazione (0,27 ppm) nella stazione C11, che è posta a ridosso di una stazione del metanodotto in mezzo a campi coltivati. È in atto uno studio per verificare se tali stazioni possano costituire fonti puntiformi di inquinamento da mercurio. Questo metallo presenta un interessante

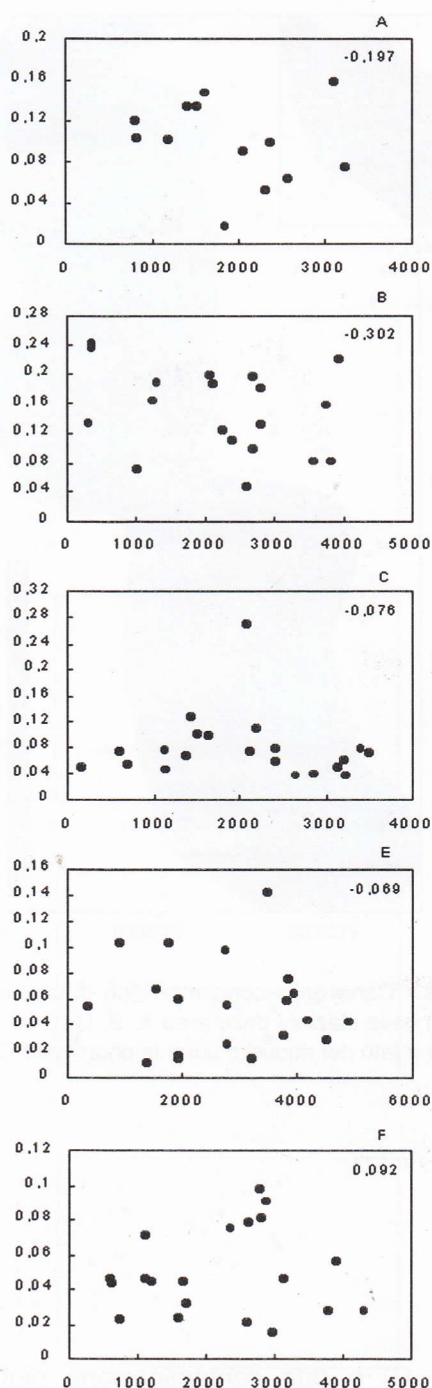


Fig. 29 - Correlazione tra i valori di mercurio misurati nel lichene *Xanthoria parietina* (asse Y, in ppm) e la distanza delle singole stazioni dagli impianti al centro di ciascuna zona d'indagine (asse X, in metri). All'interno di ciascun grafico si riporta il coefficiente di correlazione; i valori statisticamente significativi sono indicati con un asterisco.

Deposizione di metalli nella pedemontana pordenonese

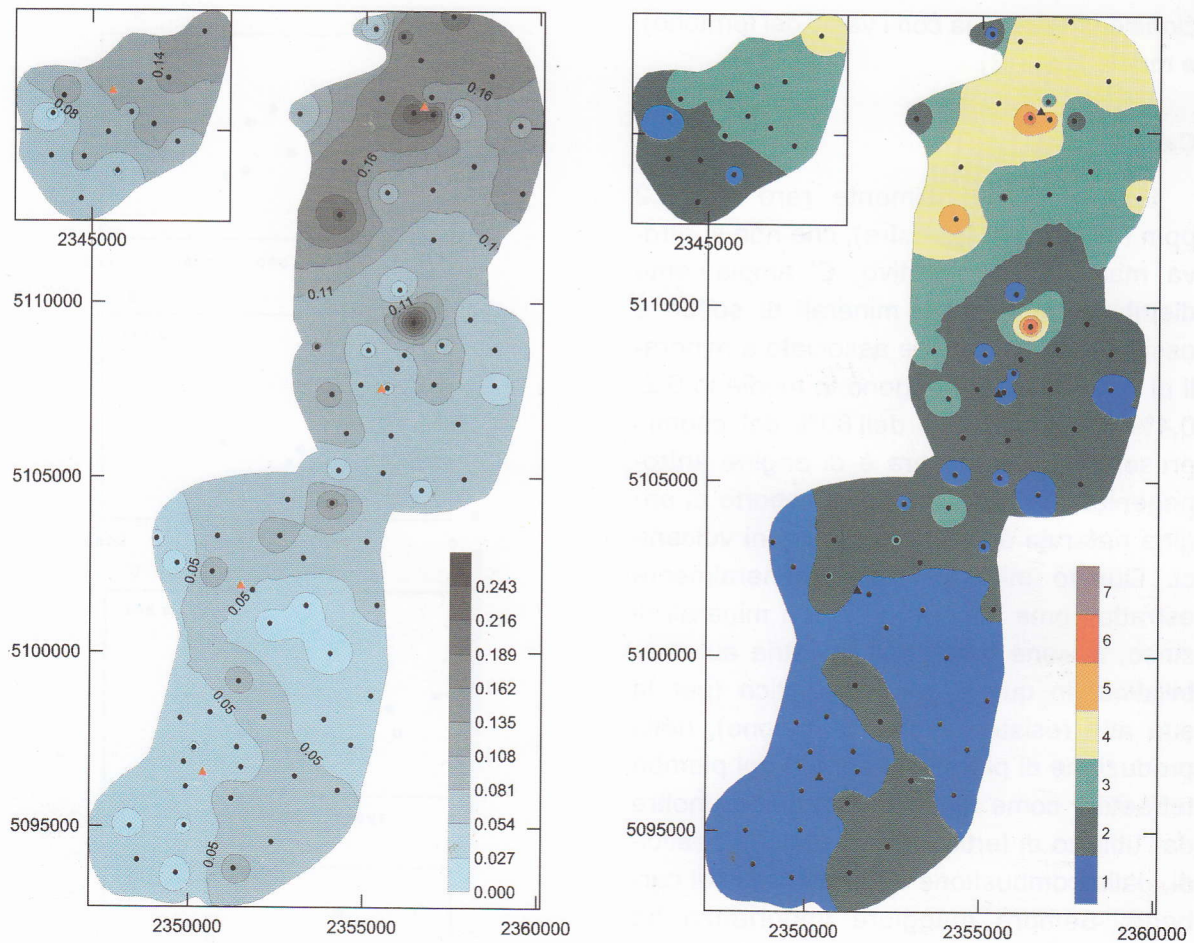


Fig. 30 - Carta della concentrazione di mercurio (ppm, a sinistra) e carta dei livelli di naturalità/alterazione (a destra) nelle stazioni delle aree A, B, C, E ed F. La localizzazione degli impianti è indicata con un triangolo. I numeri a lato del riquadro sono le coordinate Gauss-Boaga utilizzate nella cartografia ufficiale regionale.

pattern distributivo nella zona B, con due massimi di 0,244 e 0,236 ppm nelle due stazioni poste immediatamente a sud del cementificio Unicem. E' interessante notare che un gruppo collinare a decorso E-W è posto immediatamente a sud dell'impianto, ed è in grado forse di causare una deviazione in direzione SW delle masse d'aria provenienti da nord. Non è escluso che la contaminazione parziale della zona B, comunque a scarsa densità abitativa, sia legata ai processi produttivi di impianti dislocati nell'area di studio, e in particolare allo stoccaggio all'aperto di combustibile fossile. Il mercurio

è un elemento volatile presente normalmente in combustibili fossili solidi (R. Bargagli, comm. pers.) che lo possono rilasciare nell'ambiente circostante. Sarebbero comunque necessari ulteriori studi per individuare in maniera incontrovertibile la sorgente inquinante, ad esempio effettuando un campionamento di licheni lungo transetti in direzione degli impianti industriali.

Nel complesso il valore medio del mercurio delle singole zone ricade nelle fasce di naturalità molto alta (zona F), alta (zone A, C, D, ed F, a riprova che il massimo assoluto della stazione C11 deve considerarsi ecce-

zionale, non in linea con i valori del territorio), e media (zona B).

Cadmio

Elemento relativamente raro (0,1-0,2 ppm nella crosta terrestre), che non si ritrova mai allo stato nativo. E' ampiamente distribuito in depositi minerali di solfuri e ossidi ed è solitamente associato a minerali di zinco, che contengono in media lo 0,2-0,4% di cadmio. Più dell'80% del cadmio presente nell'atmosfera è di origine antropogenica, mentre il maggior apporto di origine naturale è dovuto a fenomeni vulcanici. Questo minerale viene generalmente estratto come sottoprodotto dai minerali di zinco, e viene usato nell'industria automobilistica, in quella galvanoplastica (per la sua alta resistenza alla corrosione), nella produzione di pigmenti, leghe e del piombo tetraetile, come dietilcadmio; deriva inoltre dall'utilizzo di fertilizzanti fosfatici e pesticidi, dalla combustione del petrolio e del carbone. Sempre maggiore importanza ha l'uso del cadmio come elettrodo nelle batterie ricaricabili al nichel-cadmio; ogni batteria contiene fino a 5 g di cadmio. Gli inceneritori possono essere una importante fonte di questo metallo, in quanto il cadmio è uno degli elementi ad alto peso atomico più diffusi tra i rifiuti urbani.

Questo elemento è tossico sia per gli animali che per le piante ed ha potere cancerogeno. Nell'uomo viene immagazzinato nel rene e nel fegato e il suo effetto più dannoso è la demineralizzazione delle ossa, che divengono fragili e tenere (Lee 1972).

Nelle specie vegetali tende a concentrarsi nelle radici, poiché viene facilmente assorbito dai terreni contaminati, causando riduzione della crescita e di biomassa, inibizione della fotosintesi e della traspirazione, scom-

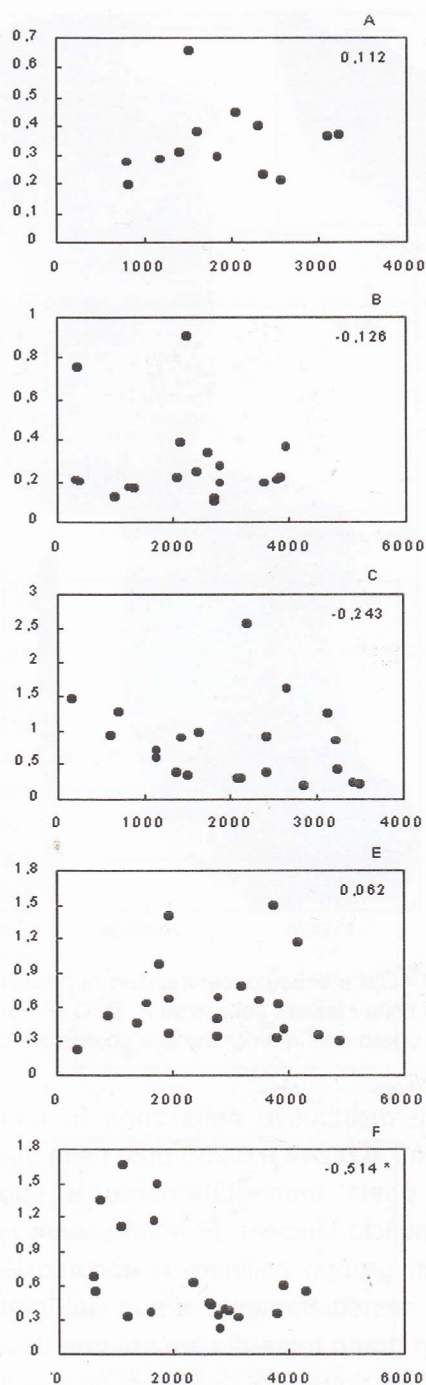


Fig. 31 - Correlazione tra i valori di cadmio misurati nel lichene *Xanthoria parietina* (asse Y, in ppm) e la distanza delle singole stazioni dagli impianti al centro di ciascuna zona d'indagine (asse X, in metri). All'interno di ciascun grafico si riporta il coefficiente di correlazione; i valori statisticamente significativi sono indicati con un asterisco.

Deposizione di metalli nella pedemontana pordenonese

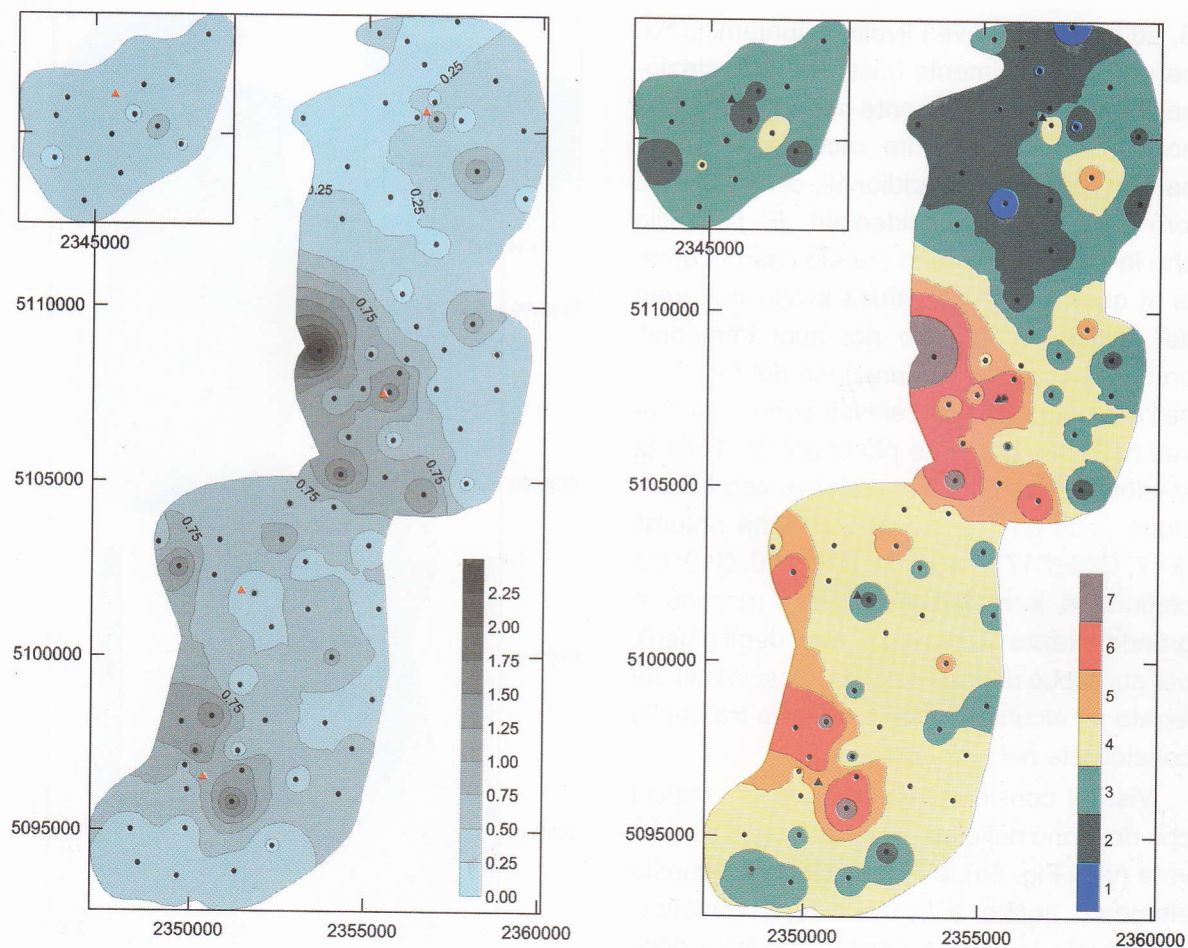


Fig. 32 - Carta della concentrazione di cadmio (ppm, a sinistra) e carta dei livelli di naturalità/alterazione (a destra) nelle stazioni delle aree A, B, C, E ed F. La localizzazione degli impianti è indicata con un triangolo. I numeri a lato del riquadro sono le coordinate Gauss-Boaga utilizzate nella cartografia ufficiale regionale.

pensi metabolici a livello enzimatico. Piante di ambienti contaminati contengono da 4 a 17 ppm, mentre in aree lontane da fonti inquinanti il contenuto è di 0,1-2,4 ppm (Adriano 1986).

Il valore di background del cadmio riscontrato nei talli lichenici in Italia è di 0,08 ppm.

Nell'insieme delle sei aree di studio la concentrazione media del cadmio è di $0,53 \pm 0,42$ ppm (più di sei volte il valore di background), il minimo di 0,10 ppm, in ogni caso superiore al valore di background, ed il massimo è di ben 2,55 ppm, registrato nella stazione C19, in una zona a prima vista assolu-

tamente non sospetta. Altri valori relativamente elevati sono stati riscontrati in diverse stazioni delle aree C, E ed F. Benché i valori più elevati delle sei aree di indagine siano inferiori ai valori massimi assoluti registrati a livello nazionale (9,04 ppm), la contaminazione da cadmio risulta preoccupante vista l'estensione del fenomeno. Infatti il valore medio delle aree E ed F ricade nella fascia di media alterazione, quello dell'area C addirittura nella fascia di alterazione alta (Fig. 32). Si deve sottolineare che la deposizione del cadmio nella zona di indagine deriva presumibilmente da più fonti emittenti: nella zona

B, ad esempio, dove i livelli di contaminazione sono generalmente bassi, c'è una stazione con valori relativamente elevati (B19), che non può evidentemente raccordarsi con il pattern delle zone meridionali, centrato sulla loro porzione più occidentale. E' possibile che la sorgente vada in questo caso ricercata in qualche attività diffusa svolta nel greto del Cellina-Meduna, o nei suoi immediati pressi, anche in considerazione del fatto che nell'area D i valori più elevati sono stati rilevati nella sua porzione più orientale. Tutte le stazioni con dei massimi relativi, con l'eccezione della B19, si trovano in zone naturali (E17, C15, F17) o agricole (F8, C16, C19; qui comunque il materiale è stato raccolto a grande altezza da terra, sui rami degli alberi), per cui si può desumere che il rilascio non sia legato ad alcuna attività industriale tra quelle considerate nel presente lavoro.

Visto il considerevole numero di stazioni che ricadono nelle tre classi percentili più elevate (vedi Fig. 36), e la pericolosità di questo elemento anche a livello cangerogenetico, nonostante la scarsa densità abitativa delle aree interessate, è evidente la necessità di identificare le sorgenti emittenti, magari estendendo lo studio alle zone immediatamente contermini.

Uno sguardo d'insieme sulla zona d'indagine

Per fornire uno sguardo d'insieme del grado complessivo di alterazione, nelle figure 33-35 vengono riportate le mappe di tre indici sintetici che sono stati recentemente proposti da Nimis *et al.* (1999) in uno studio simile a questo, relativo alla contaminazione da metalli in aree a rischio della nostra regione.

L'indice sintetico di naturalità (Fig. 33) può variare da 0 a 10. In pratica una stazione ha

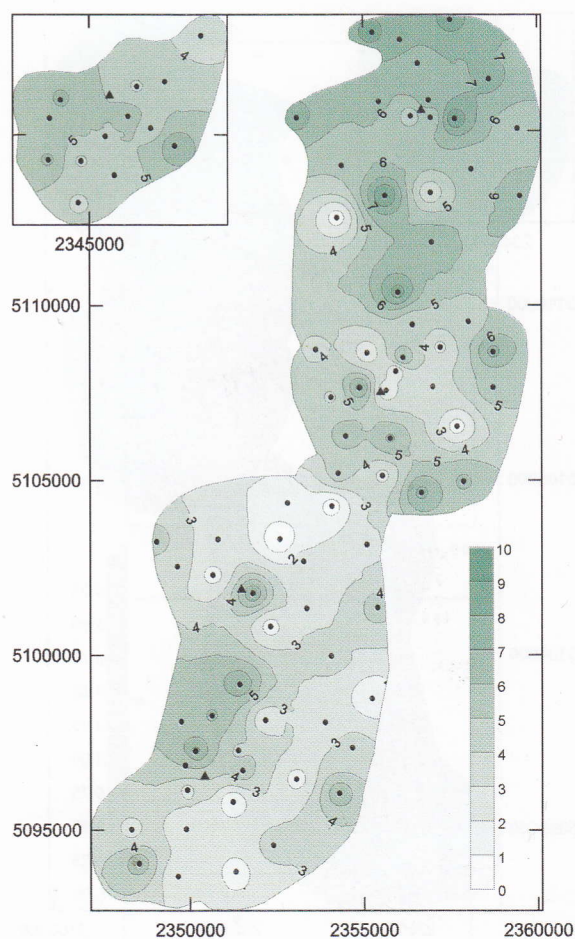


Fig. 33 - Carta dell'indice sintetico di naturalità nelle aree A, B, C E ed F. Per ulteriori spiegazioni, vedi testo.

valori tanto più elevati di indice sintetico di naturalità quanto maggiore è il numero di metalli che hanno bassi valori di contaminazione, corrispondenti appunto alle prime due classi percentili. Perciò località con alti valori di questo indice godono condizioni naturali, mentre località con bassi valori sono evidentemente esposte a una ricaduta di metalli, a causa di qualche attività perturbatrice. In questo caso le zone d'indagine si differenziano tra di loro in modo piuttosto netto, dal momento che c'è un decremento piuttosto uniforme dell'indice sintetico di naturalità procedendo da nord verso sud. La zona B gode quindi di condizioni nettamente migliori delle

Deposizione di metalli nella pedemontana pordenonese

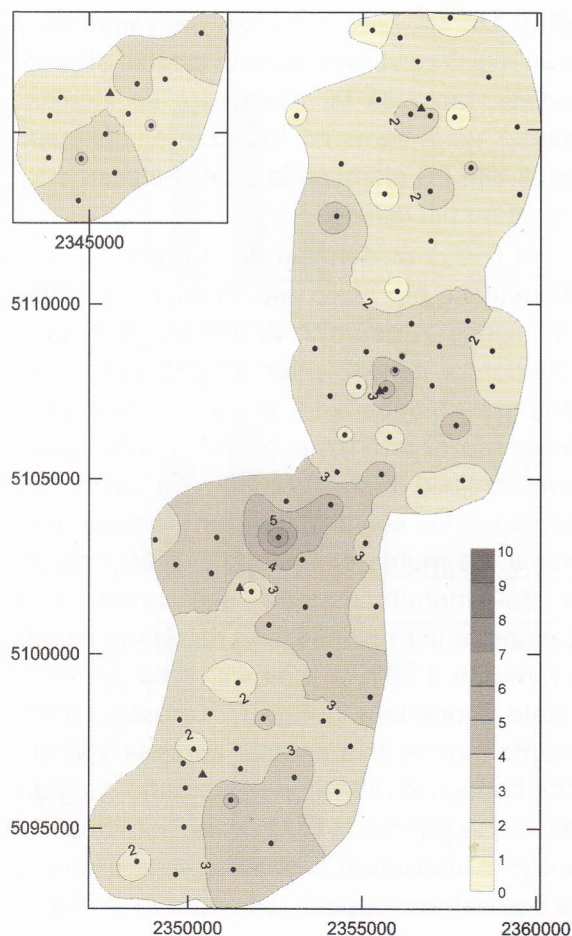


Fig. 34 - Carta dell'indice di carico totale dei metalli nelle aree A, B, C, E ed F. Per ulteriori spiegazioni, vedi testo.

altre, con una estesa porzione in cui l'indice sintetico di naturalità è superiore a 7. Condizioni abbastanza buone sono registrate anche in corrispondenza del centro di Maniago, mentre nell'area C condizioni a bassa naturalità sono presenti in corrispondenza della zona industriale del Cosa. I valori mediamente più bassi di questo indice vengono comunque registrati nella zona E, soprattutto in corrispondenza nel suo settore nord-orientale.

Sommando i valori degli indici di naturalità/alterazione di tutti i metalli in ogni stazione, e normalizzando i totali su una scala da 0 a 10, si ottiene il cosiddetto carico totale, la

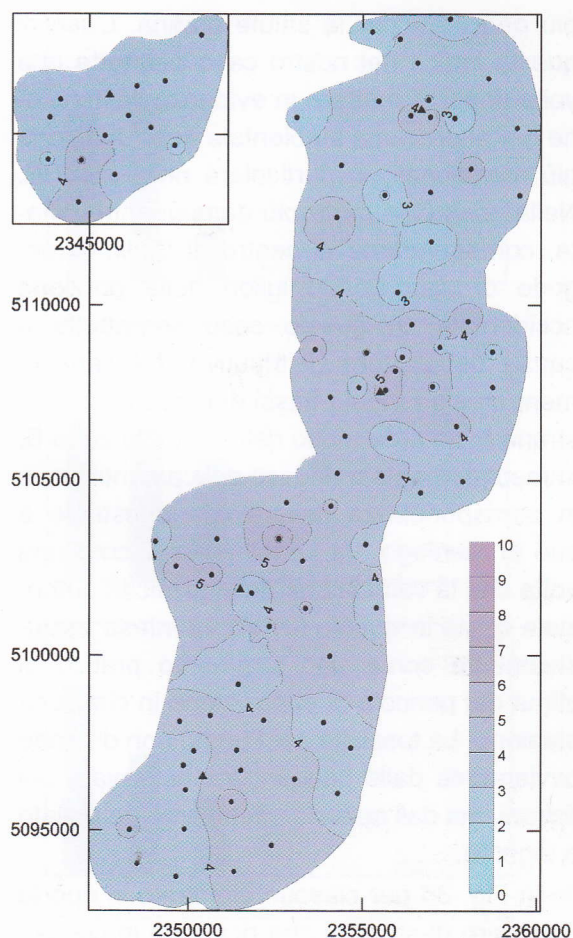


Fig. 35 - Carta dell'indice di tossicità potenziale nelle aree A, B, C, E ed F. Per ulteriori spiegazioni, vedi testo.

cui mappatura è riportata in Fig. 34. In questo caso risulta evidente la leggera perturbazione dell'area B centrata sull'impianto Unicem, la più intensa alterazione nella zona C legata alla zona industriale del Cosa, e la diffusione dell'alterazione nella zona E, estesa a circa tre quarti dell'intera superficie.

Questo quadro complessivo persiste, con alcune lievi modifiche, se si considera l'indice di tossicità potenziale (Fig. 35), che viene ottenuto associando a ciascun metallo un peso diverso a seconda della sua pericolosità tossicologica. Ad esempio, a cromo, mercurio e cadmio viene attribuito un peso doppio rispetto a rame e zinco, in quanto molto

più pericolosi per la salute umana. L'uso di questo indice nel nostro caso permette una volta di più di mettere in evidenza l'estensione dell'alterazione ambientale nelle due zone più meridionali, in particolare nella zona E. Nella zona C la parte più densamente abitata, corrispondente al centro di Spilimbergo, gode di condizioni migliori della porzione occidentale, in questo caso soprattutto a causa del pattern distributivo del cadmio, mentre valori medio-bassi di tossicità si registrano in un'area molto ristretta della zona B, immediatamente a ridosso del cementificio, e in corrispondenza della zona industriale a sud di Maniago. Va sottolineato ancora una volta che la valutazione della tossicità potenziale usata in questo lavoro va intesa esclusivamente come uno strumento pratico di stima del pericolo di esposizione in ciascuna stazione. La tossicità per l'uomo non dipende ovviamente dalle concentrazioni rilevate nei licheni, ma dall'apporto effettivamente inalato o ingerito.

In Fig. 36 per ciascun elemento si riporta il numero di stazioni che ricadono in ciascuna delle sette classi percentili dell'indice di naturalità/alterazione. I primi sei metalli hanno una distribuzione di frequenza asimmetrica, con la moda (la classe con il valore di frequenza più elevato) corrispondente alla classe 1 (alluminio, ferro, mercurio) o 2 (manganese, rame, zinco), mentre gli ultimi tre hanno una moda corrispondente alla classe 3 (cadmio e cromo) o addirittura alla classe 4 (nichel). Nel primo gruppo di metalli è quindi più frequente che le stazioni siano comprese in classi di naturalità molto alta o alta, mentre nel secondo gruppo le stazioni ricadono più frequentemente in classi di naturalità media o bassa. Inoltre, nel caso di quattro elementi (il rame e tutti i tre metalli del secondo gruppo), un certo numero di stazioni hanno valori corrispondenti alla classe 7 (alterazione molto

alta). Mentre però nel caso del rame sono stati registrati valori elevati in singole stazioni isolate, tanto da far sospettare un inquinamento estremamente localizzato, nel caso degli altri tre elementi la contaminazione ha carattere più diffuso.

Al fine di evidenziare le stazioni più problematiche per i loro elevati valori di contaminazione in determinati metalli, la matrice "stazioni x metalli" ottenuta dall'unione dei dati delle tabelle 3-14, è stata sottoposta a processo di ordinamento automatico, dopo aver escluso la stazione E9, con valori particolarmente elevati di almeno cinque elementi. La mutua disposizione delle stazioni e dei metalli rispetto alle prime due Componenti Principali, che ritengono rispettivamente il 39% e il 14,4% della varianza totale, è riportata in Fig. 37. Questo ordinamento mostra chiaramente come le stazioni che hanno elevati valori di mercurio si caratterizzano per bassi valori di nichel, cromo e zinco (e viceversa), in quanto sono disposte ai due estremi opposti del primo asse. Nello stesso modo le stazioni con elevati valori di cadmio si caratterizzano contemporaneamente per bassi valori in mercurio, rame e manganese. È possibile così riconoscere tre pattern diversi di inquinamento del territorio:

- 1) da mercurio;
- 2) da cadmio;
- 3) dal restante gruppo di metalli, di cui tre (alluminio, ferro e manganese) sono normalmente di origine terrigena.

Con l'esclusione di un leggero interessamento della parte nord-orientale della zona A, la contaminazione da mercurio è limitata alla parte nord-occidentale della zona B (stazioni 3B, 13B, 7B, 2B, 9B, 5B).

La contaminazione da cadmio interessa invece la porzione più occidentale delle zone

Deposizione di metalli nella pedemontana pordenonese

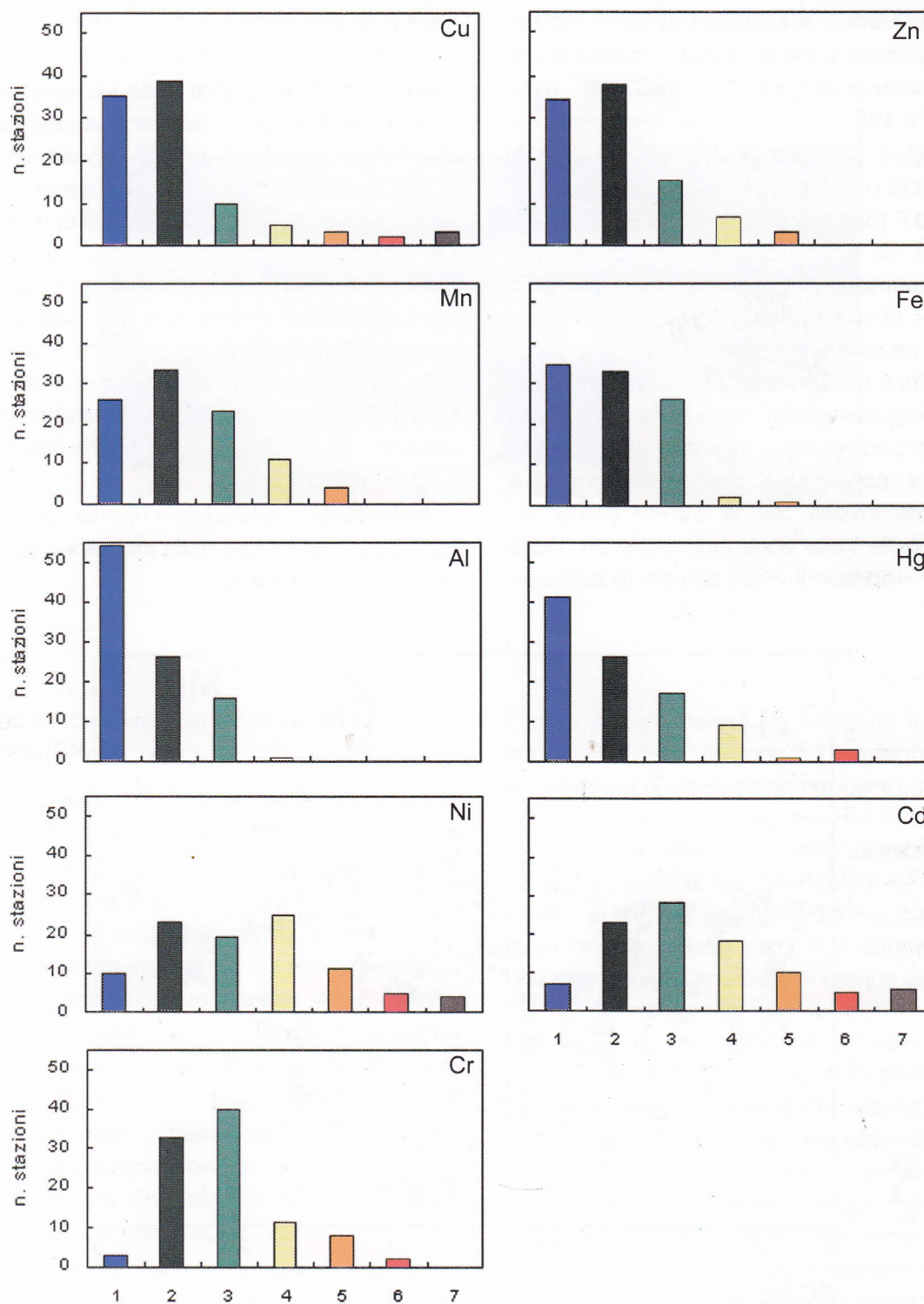


Fig. 36 - Distribuzione di frequenza delle stazioni nelle sette classi percentili di Tab. 1 relativi a ciascun elemento, con l'esclusione del calcio, per il quale non sono disponibili al momento dati sufficienti a livello nazionale per l'elaborazione di una scala di riferimento.

C, E ed F. Infatti le stazioni con valori più elevati di cadmio sono (in ordine decrescente di contaminazione): 17E, 17F, 16C, 14F, 21C, 8F, 2C e 19C.

I valori più elevati dei restanti metalli sono stati registrati in stazioni delle zone C, D, E ed F (5D, 3E, 13E, 5E, 2'C, 2C, 11E, 8F E 21C). Va sottolineato che in alcune zone (ad esempio in E ed F) i pattern di contaminazione di nichel e cromo risultano associati agli elementi terrigeni alluminio e ferro. Ciò induce a ritenere che la contaminazione da questi due metalli nelle zone E ed F sia almeno parzialmente legata a una ricaduta locale di polveri. Nel caso della zona C è probabile invece che le attività produttive concentrate nella zona industriale del Cosa siano responsabili di un rilascio di contami-

nanti nell'area circostante.

Per fornire infine un confronto sintetico del grado di contaminazione delle sei aree, si è costruita la Tab. 15 in cui per ciascuna area gli elementi sono stati ordinati in base al loro valore medio in caselle colorate secondo lo schema delle sette classi percentili di naturalità/alterazione (vedi Tab. 1). E' quindi possibile ordinare le sei aree secondo un gradiente di alterazione crescente, come segue: B, A, D, C, F ed E. I metalli i cui valori ricadono nelle classi di naturalità più bassa e di alterazione più elevata sono: Cu (limitatamente alla zona E), Cd (zone C, E, F), Ni (zone E, C, D, F) e Cr (zona A).

Nella parte successiva si riporta un breve commento riassuntivo della situazione generale di ciascuna zona.

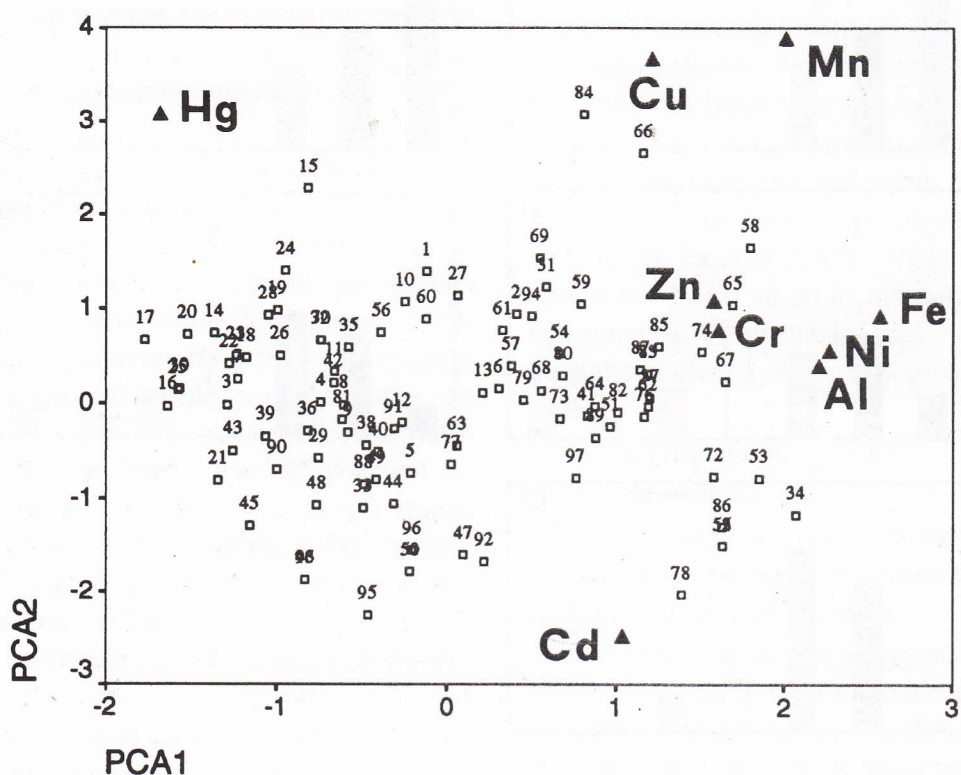


Fig. 37 - Ordinamento delle stazioni (quadrati, con la numerazione progressiva delle tabelle 2-7) e dei metalli (triangoli) in base alle prime due Componenti Principali. Ulteriori spiegazioni nel testo.

Tab. 15 - Quadro riassuntivo dei valori medi delle sei zone espressi secondo le classi percentili di Tab. 1.

A	B	C	D	E	F
Fanna	Travesio	Spilimbergo	Aviano	Rauscedo	Arzene
Al	Al	Al	Al	Hg	Hg
Zn	Fe	Cu	Hg	Al	Al
Cu	Mn	Fe	Cd	Cr	Fe
Fe	Zn	Hg	Cr	Fe	Mn
Hg	Cd	Mn	Cu	Mn	Zn
Mn	Cr	Zn	Fe	Zn	Cr
Ni	Cu	Cr	Mn	Cd	Cd
Cd	Ni	Ni	Zn	Ni	Cu
Cr	Hg	Cd	Ni	Cu	Ni

Zona A - Cementificio CEMENTIZILLO, Fanna (PN)

La situazione della zona A è in genere buona, con l'eccezione del settore sud e dell'estremità nord-orientale, con carico totale dei metalli leggermente superiore alla norma. Solo una limitata porzione, centrata a nord-est della zona industriale, ha un indice di tossicità potenziale superiore a 4; in questo caso il problema sembra legato a sorgenti puntiformi di inquinamento particellare, soprattutto di cromo. Nel complesso i valori medi dei metalli misurati nei talli di *Xanthoria parietina* corrispondono a classi di naturalità molto alta (Al, Zn), alta (Fe, Mn, Cu, Ni, Hg), media (Cd) e bassa (Cr).

La contaminazione da zinco è generalmente bassa, con l'unica eccezione della stazione A52, per la quale è ipotizzabile una contaminazione locale, forse imputabile all'impiego di pesticidi o anticrittogamici.

Cromo e rame hanno un massimo in corrispondenza della stazione A9 (un laboratorio di coltelleria a conduzione familiare), mentre calcio e nichel hanno dei massimi relativi diffusi. Mentre i livelli di naturalità/alterazione di nichel e rame sono generalmente molto buoni, quelli del cromo indicano che una larga porzione della zona A è soggetta ad una deposizione anomala di questo elemento, dal momento che ben 4 stazioni su 13 hanno valori corrispondenti ad alterazione alta o molto alta. Il cadmio ha valori molto bassi ed uniformi sul territorio, con un piccolo picco in corrispondenza alla stazione A17. Il mercurio mostra un evidente gradiente in direzione nordest-sudovest, con un massimo assoluto nella stazione A3, che tuttavia non supera un valore di contaminazione medio, pari a 0,158 ppm, che potrebbe essere legato all'inquinamento presente nella zona B.

Non è stato rilevato alcun pattern specifico negli immediati dintorni dell'impianto

Cementizillo, né è stata rilevata alcuna correlazione statisticamente significativa tra i valori di alcun metallo e la distanza delle stazioni dall'impianto stesso. Dati di bioaccumulo relativi a *Parmelia subrudecta*, un altro lichene raccolto in un concomitante studio, indicano però un'anomala deposizione di nichel in una stazione posta immediatamente a NW dell'impianto, dove non è stato possibile raccogliere *X. parietina*. Questa stazione, e la zona immediatamente contermina dovrebbero perciò essere tenute sotto stretto controllo nei prossimi anni.

Zona B - Cementificio UNICEM, Travesio (PN)

In genere la situazione della zona B è buona, con valori generalmente bassi, per cui quasi tutta l'area risulta avere una naturalità molto alta, con l'eccezione di due settori posti rispettivamente a sud-ovest e a sud-est, che hanno un carico totale di metalli (tra cui zinco e cadmio) superiore al resto del territorio, e quindi dei valori di tossicità potenziale superiori a 4. Lo zinco ha valori elevati nelle stazioni B21 e B16, con un massimo di ben 52,2 ppm; considerato l'elevato tasso di dispersione di questo metallo, non è escluso che la causa di questo inquinamento puntiforme debba essere ricercata ad una certa distanza dalla stazione stessa, magari nella direzione della stazione B19, visto che le altre due stazioni più vicine nella direzione opposta presentano al contrario valori molto bassi. Il cadmio ha valori elevati in due stazioni (B15 e B19), con massimo assoluto di circa 0,9 ppm in prossimità della Filatura San Carlo.

L'unico elemento veramente problematico per questa zona è il mercurio, in quanto nelle altre aree di studio sono stati registrati valori generalmente prossimi se non addirittura

inferiori al background italiano, mentre un vasto settore dell'area B ha valori di contaminazione media, con due massimi relativi di 0,244 e 0,236 ppm proprio nelle due stazioni subito a sud del cementificio, in un'area occupata da campi coltivati e pioppeti, lontana comunque da zone abitate.

Il fatto che le stesse stazioni abbiano un massimo relativo di un certo numero di elementi fa ritenere che lo stabilimento possa essere una delle fonti di contaminazione - comunque limitata - del territorio.

Zona C - Inceneritore MISTRAL, Spilimbergo (PN)

La zona presenta una situazione alquanto articolata, con aree in cui i valori di molti metalli sono prossimi a quelli naturali, ed altre in cui invece c'è una contaminazione piuttosto intensa, legata probabilmente a processi produttivi locali.

Mentre ferro, alluminio e manganese hanno valori di alterazione da nulli a bassi, indicando che nella zona c'è uno scarso apporto di polveri di origine terrigena, e zinco e rame hanno dei massimi dispersi sul territorio (senza per questo raggiungere valori preoccupanti), il cadmio presenta un evidente gradiente crescente in direzione est-ovest, raggiungendo valori molto elevati nelle stazioni C16 e C19. Questa contaminazione determina ovviamente un innalzamento dell'indice sintetico di tossicità potenziale in tutta la zona occidentale della zona. Il carico totale di metalli è comunque più elevato in corrispondenza della zona industriale del Cosa (al cui interno è collocato l'inceneritore) con una estensione in direzione NW-SE, a causa degli elevati valori fatti registrare da calcio, nichel e cromo. Il nichel ha valori elevati in almeno cinque stazioni (C1, C2, C2', C5, C10) e in questo caso la superficie con valo-

ri di alterazione da media a molto alta copre quasi il 70% dell'intera zona. Se si esclude una contaminazione puntiforme da mercurio, il problema maggiore dell'area sembra quindi rappresentato proprio dalla contaminazione diffusa da nichel, che raggiunge i valori più elevati in prossimità dell'inceneritore, e da quella, ancora più intensa, da cadmio. Quest'ultimo elemento, però, ha un pattern di distribuzione talmente diverso, da permettere di escludere che i due elementi abbiano una fonte comune.

A nostro avviso la zona industriale del Cosa dovrebbe venire opportunamente monitorata quale possibile fonte di particolato aerodiffuso contenente cromo e nichel, probabilmente emesso durante i processi produttivi di qualche stabilimento presente al suo interno. L'entrata in funzione dell'inceneritore verrà ad incidere quindi su una situazione ambientale già parzialmente compromessa, per cui bisognerà verificarne gli effetti con una certa assiduità.

Zona D - Inceneritore SNUA, Aviano (PN)

Dato lo scarso numero di stazioni, e la ridotta superficie dell'area di indagine, non sono state elaborate mappe di deposizione dei metalli di questa zona. Tre stazioni hanno valori anomali rispetto alle altre, e cioè le stazioni D1 e D2 (valori mediamente elevati di cadmio, zinco e mercurio) e la stazione D5 (valori mediamente elevati di rame e manganese, e valori eccezionalmente elevati di nichel), quest'ultima sita nelle immediate vicinanze di una cava di ghiaia. Comunque nel complesso i valori di contaminazione sono abbastanza bassi. In questa zona, infatti, due elementi ricadono nella classe di naturalità alta (Al e Hg), sei elementi (Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Zn) nella classe di naturalità media e solo un elemento (Ni) nella classe di natura-

lità bassa.

Va sottolineato tuttavia che i grafici di alluminio, cadmio e ferro mostrano una tendenza alla diminuzione nei valori di concentrazione con l'aumento della distanza dall'impianto. L'entrata in funzione dell'impianto verrà quindi ad incidere su una situazione già parzialmente compromessa, per cui bisognerà sottoporla a monitoraggio con una certa assiduità.

E' interessante infine sottolineare che nel caso della zona D il cadmio ha un pattern distributivo centrato sulla zona orientale, mentre nelle zone C, E ed F ha un pattern occidentale. Ciò fa supporre che la fonte di questo metallo sia collocata in un'area intermedia, in corrispondenza del greto del Cellina-Meduna.

Zona E - Fornaci CROVATO, Rauscedo (PN)

La zona E presenta i valori di contaminazione più elevati tra le sei zone considerate nel presente studio. Un unico elemento, il mercurio, ha un valore medio che ricade nella classe di naturalità alta, cinque elementi (alluminio, cromo, ferro, manganese e zinco) ricadono nella classe di naturalità media, e un elemento in ciascuna classe successiva: bassa (cadmio), media (nichel) e alta (rame).

I pattern di deposizione di ferro, alluminio e nichel sono simili, con un evidente massimo in corrispondenza della stazione E9, che è situata all'interno di una vasta zona agricola. Ferro e alluminio hanno elevati valori di naturalità in tutta la parte restante del territorio. I valori del nichel, invece, sono mediamente molto più elevati rispetto al valore naturale di background, per cui circa il 50% della zona in questione presenta fenomeni di alterazione da alti ad altissimi, con cinque stazioni (E2, E3, E5, E9, E11) aventi valori di

concentrazione superiori a 5 ppm. Il cromo mostra tre evidenti massimi sparsi su un territorio non interessato comunque da fenomeni consistenti di alterazione. I pattern di distribuzione di rame, zinco, manganese e mercurio sono alquanto difformi tra di loro, ma è possibile riconoscere un gradiente di contaminazione procedendo da sud a nord, con la stazione E9 che presenta ancora i massimi assoluti di rame e zinco e dei massimi relativi di manganese e mercurio. Il rame è l'unico elemento a presentare dei fenomeni di forte alterazione in quattro stazioni che sono collocate nella zona a maggior sfruttamento agricolo. Il cadmio ha due evidenti massimi in stazioni collocate nella porzione più occidentale dell'area di studio, per cui circa il 15% del territorio presenta una alta o altissima alterazione da cadmio.

Nel complesso il settore più compromesso è quello nord-orientale. Ciò è dovuto all'evidente massimo in corrispondenza della stazione E9, che ha quindi anche il più elevato indice di tossicità potenziale. Tutta la zona E ha valori medi di questo indice, a causa della complementarità nella distribuzione degli elementi potenzialmente più pericolosi (cadmio, cromo e mercurio), e degli elevati valori di rame e nichel.

Si può supporre che gli elevati valori di rame, nichel e zinco siano legati a contaminazione da sostanze anticrittogamiche, in quanto tutte le stazioni con valori più elevati, situate nel settore settentrionale, sono circondate da campi con colture intensive, sebbene non si possa escludere per il nichel una origine terrigena, da sollevamento di polveri, in quanto questo elemento risulta associato ad alluminio e ferro. L'elemento con pattern distributivo decisamente molto diverso è il cadmio che, in analogia con la confinante zona C, ha fatto registrare valori più elevati nel settore occidentale. Al momento attuale

non si ha una spiegazione plausibile per giustificare il pattern distributivo di questo contaminante, anche se si rimanda alle osservazioni svolte per la zona F. Una singola stazione (E9) presenta concentrazioni inusualmente elevate di sette elementi (Cd, Zn, Fe, Mn, Cu, Cr, e Ni). Il campionamento era stato effettuato su alberi di piccole dimensioni, ad una altezza relativamente bassa, in una zona relativamente aperta. Si può ipotizzare che ci sia stato un certo apporto terrigeno, tuttavia si consiglia di verificare la presenza in loco di qualche deposito inquinante, visto che la zona è a prevalente uso agricolo.

Zona F - Fornaci ERMACORA, Arzene (PN)

In questa zona un elemento (Hg) ricade con il suo valore medio nella classe di naturalità molto alta, quattro nella classe di alta naturalità (Al, Fe, Mn, Zn), un elemento in classe di media naturalità (Cr), e ben tre elementi nella classe di bassa alterazione (Cd, Cu, e Ni).

Il ferro e l'alluminio mostrano dei trend distributivi praticamente coincidenti, con un minimo nel settore nord-occidentale dell'area di indagine, e dei massimi relativi molto contenuti lungo una fascia disposta in direzione SW-NE. I livelli di alterazione in questo caso sono bassissimi. Anche nichel e cromo hanno dei minimi assoluti nella porzione nord-occidentale, tuttavia presentano dei picchi isolati in due stazioni contigue (rispettivamente, F7 e F8). Mentre i valori del cromo sono relativamente bassi se comparati ad altre zone in Italia, quelli del nichel sono piuttosto elevati, per cui una notevole porzione del territorio ha una alterazione da media a molto alta.

La contaminazione da rame è legata a due sole stazioni, che sono situate in prossimità di vigneti, per cui l'alterazione complessiva

siva del territorio risulta senza dubbio sovrastimata. Calcio, zinco e cadmio hanno una serie di massimi relativi in stazioni disposte intorno all'impianto, che è però circondato da altre stazioni più prossime con valori particolarmente bassi. Lo zinco ha valori comunque molto bassi, per cui tutta la zona F ha livelli di naturalità molto buoni. Il cadmio, al contrario, fa registrare dei valori massimi molto alti, per cui anche in questo caso, come nella zona E, una notevole porzione dell'area indagata ha livelli di alterazione da medi a molto alti, con punte di alterazione altissima nelle stazioni F8 e F17 (una siepe in mezzo a dei campi di mais e un prato stabile di grandi dimensioni con annosi alberi di pioppo). L'unica correlazione statisticamente significativa tra i valori di concentrazione dei metalli e la distanza delle stazioni dalla fornace è proprio quella del cadmio (Fig. 31) (per $1% < p < 5%$), tanto che si potrebbe ipotizzare che l'impianto sia responsabile dell'emissione di questo metallo nell'ambiente. Bisogna sottolineare tuttavia che nell'area di studio i venti prevalenti provengono dal quadrante settentrionale. Al contrario l'area di contaminazione da cadmio si estende anche nella sovrastante zona E, cioè esattamente nella direzione contraria del vento di tramontana.

La mappa relativa all'indice sintetico di naturalità mostra una suddivisione abbastanza netta della zona F tra il settore nord-occidentale, e quello sud-orientale, caratterizzato da valori generalmente più bassi. La mappa relativa al carico totale dei metalli conferma che nell'area ci sono delle situazioni di sofferenza, come mostrato dalla mappa relativa all'indice sintetico di tossicità potenziale.

La zona F sembra risentire nel complesso di un inquinamento puntiforme probabilmente legato ad eccessivi trattamenti anticrittogamici e antiparassitari delle colture agricole. Di

diversa origine sembra essere invece la contaminazione da cadmio, la più seria e potenzialmente pericolosa, di cui si dovrebbe identificare la sorgente emittente.

Conclusioni

Questo lavoro, commissionato dall'Amministrazione provinciale di Pordenone ancora nel marzo 1999, ha permesso di ottenere una ricca documentazione sull'entità dell'inquinamento da metalli in zone che non erano mai state precedentemente studiate sotto questo punto di vista.

I risultati indicano nella zona industriale del Cosa e nella porzione nord-orientale della zona E le aree più interessate da fenomeni di deposizione di metalli. Più in generale si è potuto individuare un numero limitato di stazioni "a rischio" per singoli metalli, che dovrebbero venire monitorate direttamente per verificare l'entità di ricaduta, o l'eventuale presenza di situazioni perturbative (es. discariche abusive). E' stato inoltre evidenziato come anche piccole realtà produttive possono essere talvolta fonti inquinanti di una certa entità, e si è messo in risalto come alcune pratiche agricole possono causare un intenso inquinamento a livello locale. Semplici accorgimenti potrebbero essere sufficienti per risolvere questi problemi.

Il presente studio ha anche aperto alcuni interrogativi, primo fra tutti la causa dell'estesa contaminazione da cadmio. La soluzione potrebbe essere offerta da uno studio esteso all'intero territorio della pedemontana pordenonese, che avrebbe inoltre il pregio di farci conoscere la situazione di zone densamente abitate dove sono concentrate realtà produttive molto più grandi di quelle esaminate in questo lavoro. Una tale ricerca permetterebbe anche di collocare nella giusta prospettiva i risultati di questo lavoro. Si deve infatti sot-

tolineare che nella nostra zona d'indagine molti massimi di contaminazione sono stati individuati in aree prive di insediamenti abitativi, mentre i più importanti centri della zona (Fanna, Lestàns, Maniago, S. Giorgio della Richinvelda, Spilimbergo, Travesio, Valvasone, ecc.) si collocano tutti all'interno di settori con valori generalmente bassi di contaminazione da metalli.

Ringraziamenti

Si ringraziano tutte le persone che nel corso del lavoro in campo ci hanno permesso di accedere alle loro proprietà per il campionamento del materiale: poche volte abbiamo trovato una disponibilità così immediata e cortese. Si ringraziano inoltre il Dr Fabio Bravi (Siena) per le analisi dei campioni, che sono state svolte presso il laboratorio del Prof. Roberto Bargagli (Dipartimento di Biologia Ambientale, Università di Siena), il Dr Diego Borme (Trieste) per la collaborazione prestata nell'allestimento di una parte dei campioni, il Prof. P.L. Nimis (Dipartimento di Biologia di Trieste) per averci messo a disposizione dati inediti sul contenuto in metalli dei licheni in Italia, la Dr Elisabetta Rui e il Dr Dario Gasparo (Trieste) per averci concesso l'uso di loro fotografie. Si desidera infine ringraziare il personale dell'Ufficio Ecologia della Provincia di Pordenone, in particolare il responsabile, Dr Sergio Cristante, e la Dr Sandra Pasquali, per il sostegno accordatoci.

Riassunto

Vengono presentati i risultati di uno studio di biomonitoraggio ambientale basato sui licheni condotto in sei zone-campione (A-F) della pedemontana pordenonese. L'obiettivo era verificare se alcuni impianti industriali avevano causato un consistente rilascio di metalli in traccia sul territorio circostante. Inoltre si voleva conoscere lo stato di fatto di due aree prima dell'entrata in funzione di due impianti di incenerimento, per permettere una verifica, negli anni successivi, degli effetti della loro attività sul territorio.

Nell'estate del 1999 è stato quindi effettuato un campionamento del lichene *Xanthoria parietina* in 97 stazioni distribuite su un'area di circa 192 km² in

base ad una metodica oramai standardizzata a livello nazionale.

Il materiale, dopo opportuna preparazione, è stato analizzato con tecniche di spettrometria di massa per determinarne il contenuto di dieci metalli (alluminio, cadmio, calcio, cromo, ferro, manganese, mercurio, nichel, rame, zinco). I dati, analizzati statisticamente mediante tecniche di analisi uni- e multivariata, sono stati quindi usati per la stesura di mappe bidimensionali.

Lo studio ha evidenziato che l'insieme delle aree indagate non è sottoposto in genere ad una ricaduta particolarmente elevata dei metalli considerati. Solo in alcuni casi la distribuzione di alcuni metalli sembra essere riconducibile direttamente alle emissioni di alcuni impianti. In genere non è stata rilevata alcuna correlazione statisticamente significativa tra le concentrazioni dei metalli nei licheni e la distanza delle stazioni dai vari impianti, con l'eccezione di alcuni metalli nella zona C, e del cadmio nella zona F. E' possibile tuttavia riconoscere delle situazioni fortemente anomale, che andrebbero ulteriormente indagate per spiegarne con certezza le cause. La parte più settentrionale dell'area di studio, che si caratterizza per valori di contaminazione molto bassi di quasi tutti i metalli considerati, è interessata ad esempio da un apporto di mercurio di una certa entità. Valori elevati di cadmio, cromo e nichel (corrispondenti alla classe 7, "di alterazione molto alta") sono stati rilevati in alcune stazioni della parte più meridionale, anche se la loro distribuzione sul territorio non è però coincidente: il cadmio ha valori più elevati nella porzione più occidentale, mentre cromo e nichel in quella orientale. I valori massimi di questi ultimi due metalli sono in alcuni casi associati a valori altrettanto elevati di alluminio e ferro; ciò indica una possibile origine comune, con ogni probabilità dovuta alla ricaduta di particellati terrigeni. In altri casi, invece, sembra che gli elevati valori di cromo e nichel siano legati alle emissioni di alcune attività industriali presenti all'interno della zona di indagine. Sembra inoltre che le pratiche agricole costituiscano un importante fattore di contaminazione (ad esempio di rame), a causa di trattamenti particolarmente pesanti di antiparassitari e anticrittogamici, resi necessari dai frequenti, intensi eventi piovosi che caratterizzano la zona di indagine. Questo aspetto meriterebbe un ulteriore approfondimento per gli evidenti effetti sul territorio.

Abstract - *Biomonitoring of trace elements by lichens in selected areas of the Province of Pordenone (NE Italy).*

This study is based on concentration data of ten elements (Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni and Zn) in peripheral parts of the thalli of the epiphytic lichen *Xanthoria parietina*. The material was collected in 97 stations distributed in six areas (A-F) of the Province of Pordenone (NE Italy), selected by the Provincial Authority for the presence of six industrial settlements (two cement mills, two incinerators, and two lime furnaces). The interpretation of results is based on two maps, showing, respectively, the distribution pattern of each metal in joining areas, and the degree of deviation from background conditions in Italy. The data have been also submitted to uni- and multivariate statistical analysis, to identify different pollution patterns on the territory, and to verify the correlation between metal concentration values and distance of stations from the purported pollution sources. Three main pollution patterns have been identified: a) by Hg, which is limited to area B, and is apparently centered on a cement mill; b) by Cd, which heavily affects the westernmost part of areas C, E and F, and whose source is probably external to the survey area; c) by Cr and Ni, in areas C and E. Area E has the highest number of stations where single metals strongly deviate from normal conditions. Agricultural abuse of anticryptogamic substances and small industrial settlements are often local sources of intense metal pollution.

Bibliografia

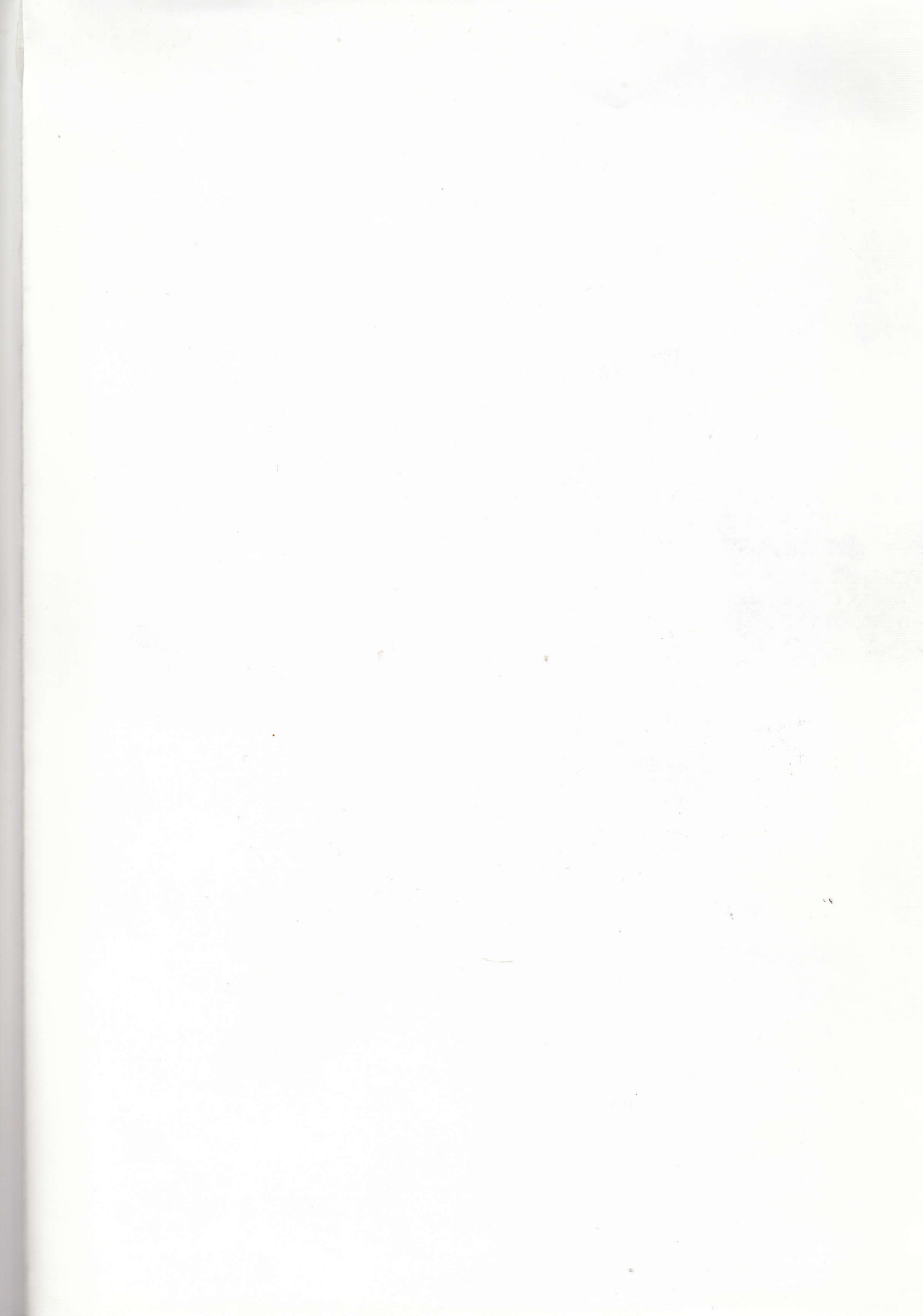
- Adriano D.C., 1986 - Trace Elements in the Terrestrial Environment. Springer, New York, 533 pp.
- Bargagli R., 1988 - Determination of metal deposition patterns by epiphytic lichens. *J. Toxicol. Environm. Chem.*, 18: 249-256.
- Bargagli, R., 1995 - The elemental composition of vegetation and the possible incidence of soil contamination of samples. *Sci. Total Environ.*, 176: 121-128.
- Bargagli R., 1998 - Trace Elements in Terrestrial Plants. An Ecophysiological Approach to Biomonitoring and Biorecovery. Springer, Berlin, 324 pp.
- Bargagli R., Iosco F.P. & Leonzio C., 1985 - Monitoraggio di elementi in tracce mediante licheni epifiti. Osservazioni nell'area industriale di Rosignano Solvay. *Inquinamento*, 2: 33-37.
- Bargagli R., Nimis P.L. & Monaci F., 1997 - Lichen biomonitoring of trace element deposition in urban, industrial and reference areas of Italy. *J. Trace Elem. Med. Biol.*, 11: 173-173.
- Brown D.H., 1987 - The location of mineral elements in lichens: implication for metabolism. *Lichenologist*, 25: 361-375.
- Brown D.H. & Beckett R.P., 1985 - Mineral and lichens: acquisition, localization & effects. In: Vicente C., Brown D.H. & Legaz M.E. (eds.), *Surface Physiology of Lichens*. Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Buck G.W. & Brown D.H., 1979 - The effects of desiccation on cation location in lichens. *Ann. Bot.*, 44: 265-277.
- Dall'Aglio M., 1988 - Mercurio e piombo: circolazione, destino ed effetti sulla salute. *Le Scienze, Quaderni*, 40: 75-80.
- Farrar J.F., 1976 - The uptake and metabolism of phosphate by lichen *Hypogymnia physodes*. *New Phytol.*, 77: 127-134.
- Floccia M., Gisotti G. & Sanna M., 1985 - Dizionario dell'inquinamento: cause, effetti, rimedi e normativa. Edizioni NIS, 206-210.
- Gabriel K.R., 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*, 58: 453-467.
- Galun M., Garty J. & Ronen R., 1984 - Lichens as bioindicators of air pollution. *Webbia*, 38: 371-383.
- Garty J., Galun M. & Kessel M., 1979 - Localization of heavy metals and other elements accumulated in the lichen thallus. *New Phytol.*, 82: 159-168.
- Gasparo D., Castello M. & Bargagli R., 1989. Biomonitoraggio dell'inquinamento atmosferico tramite licheni. Studio presso un inceneritore (Macerata). *Studia Geobot.*, 9: 153-250.
- Gentili J., 1964 - Il Friuli. I Climi. Camera Comm., Ind., Agr., Udine, 595 pp.
- Lee D.H., 1972. *Metallic contaminants and human health*. Academic Press, New York.
- McLean J., Purvis O.W., Williamson B.J. & Bailey E.H., 1998 - Role for lichen melanins in uranium remediation. *Nature*, 391(6668): 649-650.
- Modenesi P., 1993 - An SEM study of injury symptoms in *Parmotrema reticulatum* treated with Paraquat or growing in sulphur dioxide-polluted air. *Lichenologist*, 25: 423-433.
- Morandi R., 1998 - Monitoraggio dell'inquinamento

- atmosferico mediante l'uso dei licheni. In: Ambiente. Il Veneto verso il 2000. Giunta Regionale del Veneto, pp. 187-206.
- Nash T.H. III, 1975 - Influence of effluents from a zinc factory on lichens. *Ecol. Monogr.*, 45: 183-198.
- Nieboer E. & Richardson D.H.S., 1981 - Lichens as monitors of atmospheric deposition. In: Eisenreich S.J. (ed.), *Atmospheric Pollutants and Natural Waters*. Ann Arbor Science, Ann Arbor, Michigan.
- Nieboer E., Richardson D.H.S. & Tommasini F.D., 1978 - Mineral uptake & release by lichens: an overview. *Bryologist*, 81: 226-246.
- Nimis P.L. & Bargagli R., 1999 - Linee-guida per l'utilizzo di licheni epifiti come bioaccumulatori di metalli in traccia. In: Piccini C. & Salvati S. (a cura di), *Atti del Workshop "Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale"*. Roma, 26-27 novembre 1998. ANPA, Serie Atti, 2: 279-287.
- Nimis P. L., Castello M. & Perotti M., 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, pp. 265-284.
- Nimis P.L., Lazzarin G. & D. & Gasparo D., 1996 - Biomonitoring of SO₂ and metal pollution with lichens in the Province of Treviso (NE Italy). In: Azzoni R., De Marco N. & Sansoni G. (eds.): *Dalla tossicologia alla ecotossicologia*, pp. 9-27, 1996.
- Nimis P.L., Skert N. & Castello M., 1999 - Biomonitoraggio di metalli in traccia tramite licheni in aree a rischio del Friuli - Venezia Giulia. *Studia Geobot.*, 18: 4-49.
- Puckett K.J., 1988 - Bryophytes and lichens as monitors of metal deposition. *Bibl. Lichenol.*, 30: 231-267.
- Purvis O.W. & Halls C., 1996 - A review of lichens in metal-enriched environments. *Lichenologist*, 28: 571-601.
- Richardson D.H.S., Nieboer E., Lavoie P. & Padovan D., 1984 - Anion accumulation by lichens I. The characteristics and kinetics of arsenate uptake by *Umbilicaria muhlenbergii*. *New Phytol.*, 96: 71-82.
- Stöppler M. & Backhaus F., 1978 - Pretreatment studies with biological and environmental materials. I - Systems for pressured multi-sample decomposition. *Frenesius Z. Anal. Chem.*, 291: 116-120.
- Tretiach M., Monaci F., Baruffo L. & Bargagli R., 1999. Effetti dell'H₂S sul contenuto di elementi in tracce nel lichene epifita *Parmelia sulcata*. *Boll. Soc. Adr. Sci.*, 78: 365-387 (1997/1998).
- Tuominen Y. & Jaakkola T., 1973 - Adsorption and accumulation of elements. In: Ahmadjan V. & Hale M.H. (eds.), *The Lichens*. Academic Press, Cambridge, 545 pp.

Stampato presso la tipografia della Provincia di Pordenone
maggio 2001

Faint, illegible text in the left column, possibly bleed-through from the reverse side of the page.

Faint, illegible text in the right column, possibly bleed-through from the reverse side of the page.





Le tecniche di biomonitoraggio della qualità dell'aria basate sull'uso dei licheni sono state introdotte in Italia da ricercatori del Dipartimento di Biologia dell'Università di Trieste ancora negli anni '80. Da allora questo Dipartimento è sempre stato un punto di riferimento per tutte le attività di biomonitoraggio con i licheni svolte in Italia. La diffusione di queste metodiche è stata notevolmente incrementata da una serie di corsi a carattere introduttivo, il primo dei quali era stato tenuto a Pordenone nel 1989 in collaborazione con il Presidio Multizonale di Prevenzione dell'Unità Sanitaria Locale "Pordenonese".

Il presente lavoro illustra in maniera divulgativa i risultati di uno studio commissionato dalla Provincia di Pordenone al Dipartimento di Biologia di Trieste per verificare l'entità dell'inquinamento da metalli in alcune zone campione della pedemontana pordenonese in prossimità di alcuni grossi impianti industriali. Esso rappresenta un interessante esempio dei risultati che si possono ottenere dalla collaborazione tra enti di tutela e controllo e strutture di ricerca.

