

R. BARGAGLI (*), M.L. D'AMATO (*), F.P. IOSCO (*)

IL DEGRADO DELLA VEGETAZIONE COSTIERA DI SAN ROSSORE: POSSIBILE INCIDENZA DI ALCUNI ELEMENTI IN TRACCE (**)

Riassunto — È stato analizzato il contenuto di elementi in tracce (Hg, Pb, Cd, Zn, Mn, Co, Cr, Cu) negli aghi di *P. pinea* e *P. pinaster* raccolti nella fascia costiera e nelle zone più interne della Tenuta di San Rossore (Pisa). Allo scopo di eliminare gli apporti di elementi in tracce dovuti alla polvere depositatasi su alcuni campioni, sono stati analizzati anche alcuni campioni di suolo ed è stata determinata la quantità di Al presente negli aghi di pino.

Le due specie di pino si sono rivelate buoni indicatori della contaminazione atmosferica e negli aghi di 2 o 3 anni di età si verificano sensibili incrementi delle concentrazioni di molti elementi in tracce. Soprattutto è stato rilevato che i tenori degli elementi analizzati (ad eccezione del Cr, del Mn e del Pb) decrescono significativamente man mano che ci allontana dalla costa. Pertanto, le gocce di aerosol che si formano sulla superficie marina e vengono spinte dal vento sulla vegetazione costiera, sono ritenute la principale fonte della contaminazione; anche se, non vengono esclusi possibili apporti dall'atmosfera.

Abstract — *The deterioration of coastal vegetation in the park of San Rossore: the possible involvement of some trace elements.* In order to establish the possible involvement of trace metals in the serious decline of coastal pine trees in the park of San Rossore, in twenty-two stations, samples of *Pinus pinea* and *Pinus pinaster* needles were collected three times in 1984 and 1985. Concentration of Hg, Pb, Cd, Zn, Fe, Mn, Co, Cr, and Cu were determined by the atomic absorption spectrophotometer. In order to minimize the effects of soil contamination, the Al content in pine needles and the trace elements in soil samples were also determined. The damaged coastal pines show the highest element content (except for Mn, Cr, and Pb) and several metal concentrations increase with needle age. Toward the inland the metal content significantly decreases.

The involvement of the sea-spray which is carried by the sea wind on coastal vegetation and of the atmosphere is discussed.

Key words — Trace elements, pollution, coastal vegetation, San Rossore (Tuscany).

(*) Dipartimento di Biologia Ambientale, Via delle Cerchia 3, 53100 Siena.

(**) Ricerca svolta nell'ambito del progetto CEE-CNR-Università (Contratto CEE-San Rossore n. ENU-750-I-EDB).

PREMESSA

La vegetazione litoranea e soprattutto la pineta della Tenuta presidenziale di San Rossore, da circa un trentennio è interessata da gravi processi di degrado.

Le prime ricerche (LAPUCCI, 1967; GELLINI e PAIERO, 1969; LAPUCCI *et al.*, 1972) individuarono nei detergenti i principali responsabili di tale deterioramento; infatti questi erano presenti in mare in concentrazioni piuttosto elevate ed in particolari condizioni atmosferiche, venivano depositati sulla vegetazione dalle gocce di aerosol.

Studi successivi (GELLINI *et al.*, 1981; GELLINI *et al.*, 1983; BUSOTTI *et al.*, 1984), convalidati dai risultati di ricerche condotte in altre aree costiere interessate da analoghi processi (PITMAN *et al.*, 1977; DOWDEN e LAMBERT-MARCIA, 1979), hanno dimostrato che i detergenti danneggiano lo strato ceroso epicuticolare degli aghi di pino alterandone significativamente anche la funzionalità stomatica.

In queste condizioni è presumibile che il sale marino e molte delle sostanze fitotossiche presenti sia nelle gocce di aerosol che nell'aria penetrino nelle strutture vegetali ed esplicino un'azione fitotossica sinergica a quella dei detergenti.

Alcuni degli elementi in tracce come per esempio il Cd, il Hg ed il Pb possono risultare tossici per le piante anche a basse concentrazioni (ORMROD, 1984). I dati reperibili in letteratura sulle concentrazioni di questi elementi nell'ecosistema di San Rossore sono molto scarsi. Nell'ambito di questo stesso progetto di ricerca sul degrado della pineta di San Rossore, BARGAGLI e D'AMATO (1986) hanno rilevato alte concentrazioni di Hg, Cd, Cr ed altri elementi fitotossici nei sedimenti superficiali del fiume Morto ed in quelli raccolti nei tratti terminali dell'Arno e del Serchio.

Escluse due stazioni situate davanti alla foce dell'Arno, i sedimenti marini prelevati davanti alla Tenuta risultavano praticamente incontaminati, quindi i suddetti autori avanzavano l'ipotesi che parte dei metalli trasportati dai fiumi, nel passaggio dall'ambiente fluviale a quello marino, venivano rilasciati nella colonna d'acqua sovrastante.

Tale ipotesi risulta ampiamente confermata dai risultati delle indagini condotte, nell'ambito dello stesso progetto di ricerca, da BETTI *et al.* (1985), i quali hanno rilevato contaminazione da Cu, Pb e Cd nelle acque costiere prelevate davanti a San Rossore.

Considerando infine che nelle aree marine contaminate da de-

tergenti le gocce di aerosol in formazione estraggono molto efficacemente i metalli dall'acqua (KIM e ZEITLIN, 1971; PIOTROWICZ *et al.*, 1972), appare verosimile l'ipotesi che alcuni elementi in tracce possano contribuire al deterioramento della vegetazione costiera della Tenuta.

Scopo della presente ricerca è appunto quello di verificare se gli aghi di pino raccolti nella fascia costiera danneggiata contengono concentrazioni di elementi in tracce significativamente più elevate rispetto a quelle rilevate nelle zone più interne della Tenuta.

Negli ultimi anni molte specie di conifere sono state impiegate in studi sulla contaminazione atmosferica da SO₂ e fluoruri (cfr. HARBOTTLE *et al.*, 1982). Questa ricerca permetterà di verificare se le specie più diffuse a San Rossore (*Pinus pinea* e *Pinus pinaster*) possono essere utilmente impiegate come indicatori biologici della contaminazione da elementi in tracce.

MATERIALI E METODI

La pineta di San Rossore è costituita in gran parte da pino domestico (*P. pinea*), mentre nella fascia costiera sono stati eseguiti reimpianti di pino marittimo (*P. pinaster*). Necessariamente le ricerche sono state svolte su entrambe le specie. Campioni di aghi (circa 100 g peso fresco) distinti per età, sono stati raccolti ad altezza non inferiore ai 2 m da 3 alberi vicini (22 stazioni) nell'arco di un anno (dicembre 1984, luglio e novembre 1985). In 3 stazioni sono stati raccolti anche dei campioni di suolo superficiale (0-5 cm) (Fig. 1).

In laboratorio, sia gli aghi di pino che i suoli sono stati fatti asciugare in termostato a 37° C quindi sono stati triturati ed omogeneizzati. La determinazione di elementi in tracce è stata eseguita allo spettrofotometro di assorbimento atomico previa mineralizzazione dei campioni con HNO₃ conc. a 120° C per 6 h in contenitori di Teflon sotto pressione. Mentre per l'atomizzazione del Fe, Mn, Cu e Zn veniva impiegata la fiamma aria/acetilene e per il Pb, Cd, Cr, Co e Al il fornetto di grafite, per il Hg è stata impiegata la tecnica del vapore freddo. Con cinque analisi ripetute di uno stesso campione di aghi e di suolo è stato possibile rilevare che, a seconda dell'elemento, il coefficiente di variazione risultava compreso tra il 3,2 ed il 14,4%.

Analisi su campioni di *P. pinea* e *P. pinaster* raccolti in una stessa stazione, mostravano differenze nelle concentrazioni degli ele-

menti in tracce non superiori al 10%, permettendo quindi il confronto tra i dati ottenuti dalle due specie.

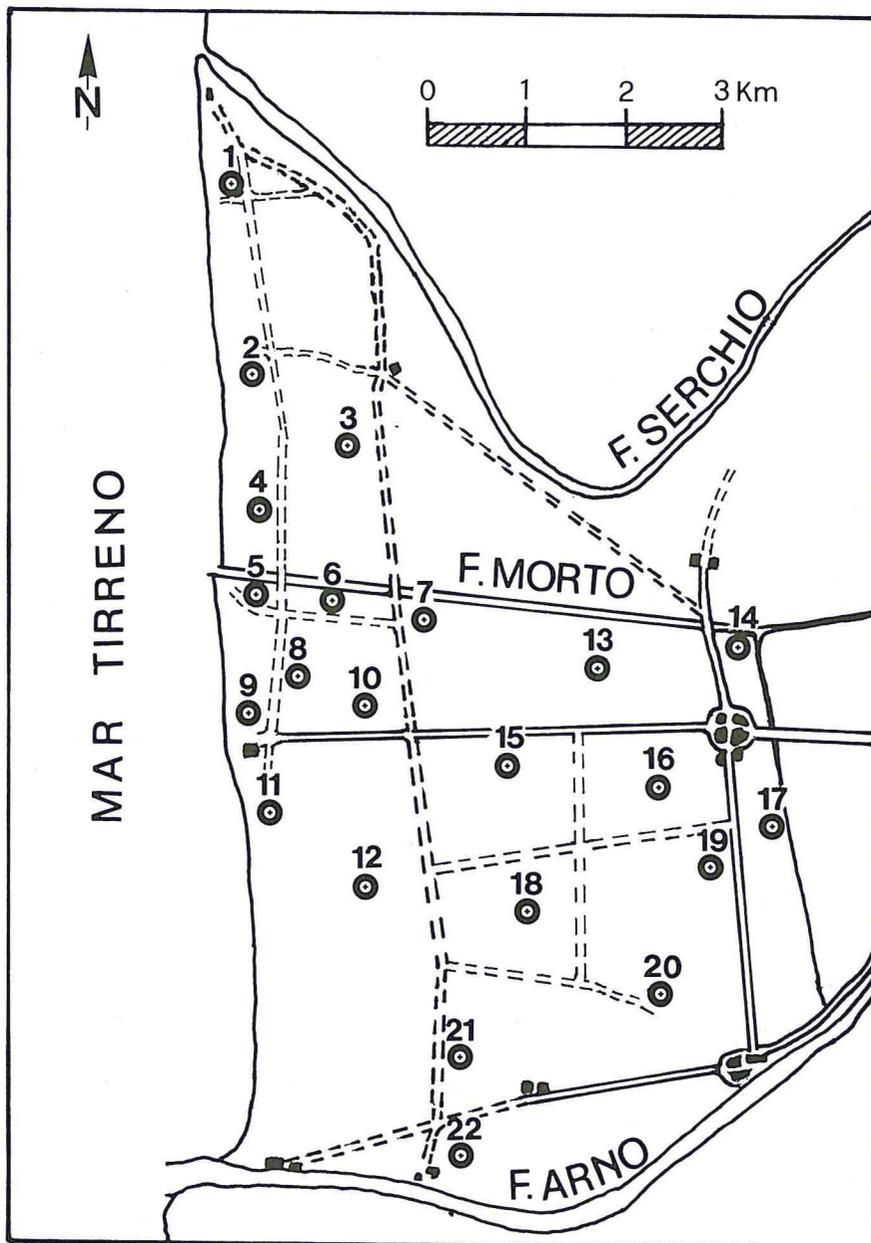


Fig. 1 - Stazioni di prelievo degli aghi di pino nella Tenuta di San Rossore.

RISULTATI

Le concentrazioni medie di elementi in tracce negli aghi di pino di età inferiore ad un anno sono riportate in tab. 1. Generalmente non sono state riscontrate significative differenze tra le concentrazioni rilevate in campioni raccolti in una stessa stazione nei diversi periodi dell'anno, ad eccezione degli aghi prelevati a luglio nelle st. 1, 4, 5 e 9. Questi campioni infatti, mostravano concentrazioni sensibilmente più elevate di Fe, Mn, Pb e Co, cioè di quegli elementi che sono presenti nei suoli in quantità di gran lunga superiori a quelle riscontrabili nei vegetali; verosimilmente questi campioni sono 'contaminati' dal suolo. Infatti sono stati prelevati nella fascia costiera dove i venti spirano con maggiore intensità ed il suolo ha una scarsa copertura vegetale; inoltre sono stati raccolti su esemplari di *P. pinaster*, che per il loro portamento, sono più esposti al depositarsi della polvere.

Allo scopo di confrontare tra loro i valori di tab. 1 e quindi poter valutare l'eventuale apporto di elementi in tracce mediante l'aerosol marino e/o l'atmosfera è necessario stimare la quantità di polvere e di elementi che questa apporta sui campioni.

A questo scopo è stato determinato sia nel suolo che negli aghi di pino il contenuto di Al, essendo questo elemento non essenziale alla fisiologia dei vegetali, generalmente viene assorbito in quantità limitate. Nei suoli invece l'Al è presente in abbondanza. Negli aghi di pino perfettamente puliti di San Rossore le concentrazioni di Al non superano i $200 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ p.s., quindi le quantità eccedenti questo valore sono state attribuite alla 'contaminazione' da suolo. Determinando le concentrazioni di elementi in tracce nei suoli della Tenuta (Tab. 2) è stato possibile ridimensionare i valori riportati in tab. 1 per quegli elementi (Fe, Pb, Co, Cu) significativamente correlati ($r \geq 0,423$; $P < 0,05$) con i tenori di Al negli aghi di pino.

Le analisi del suolo, anche se relative a soli 3 campioni, non mostrano differenze tra il campione prelevato nella fascia costiera ed i due raccolti all'interno della Tenuta. Se confrontati con i valori riportati in letteratura per altri suoli sabbiosi di aree non contaminate (NILSSON, 1972; RINNE *et al.*, 1980) i valori riscontrati a San Rossore risultano tra quelli più bassi.

Dopo aver eliminato la componente attribuibile al suolo, le concentrazioni di elementi in tracce negli aghi di pino sono più o meno corrispondenti a quelle riportate in letteratura per campioni raccol-

TAB. 1 - Concentrazioni medie ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$; \pm D.S.) di elementi in tracce negli aghi di pino di età inferiore ad un anno.

St.	Hg	Pb	Cd	Zn	Fe	Mn	Co	Cr	Cu	Al
1	0.21 \pm 0.10	0.77 \pm 0.35	0.26 \pm 0.09	21.6 \pm 3.8	141 \pm 51	89 \pm 31	0.51 \pm 0.03	0.90 \pm 0.35	7.8 \pm 3.2	513 \pm 95
2	0.17 \pm 0.09	1.93 \pm 0.41	0.32 \pm 0.11	35.9 \pm 5.6	120 \pm 35	106 \pm 40	0.35 \pm 0.15	0.73 \pm 0.27	7.1 \pm 2.9	276 \pm 65
3	0.15 \pm 0.04	0.79 \pm 0.31	0.27 \pm 0.10	20.9 \pm 1.0	126 \pm 27	137 \pm 10	0.45 \pm 0.05	0.30 \pm 0.10	2.6 \pm 1.4	127 \pm 7.7
4	0.15 \pm 0.06	1.65 \pm 0.15	0.16 \pm 0.03	23.0 \pm 2.5	273 \pm 99	110 \pm 25	0.42 \pm 0.07	0.55 \pm 0.15	9.2 \pm 2.3	1164 \pm 55
5	0.20 \pm 0.09	2.70 \pm 1.01	0.15 \pm 0.05	33.0 \pm 7.4	198 \pm 70	34 \pm 5	0.50 \pm 0.02	2.30 \pm 1.00	10.3 \pm 3.7	583 \pm 17
6	0.08 \pm 0.01	0.37 \pm 0.03	0.11 \pm 0.04	30.3 \pm 5.4	40 \pm 14	95 \pm 40	0.36 \pm 0.08	1.50 \pm 0.50	6.0 \pm 2.1	120 \pm 28
7	0.06 \pm 0.03	0.86 \pm 0.34	0.08 \pm 0.03	24.0 \pm 6.0	85 \pm 23	79 \pm 15	0.20 \pm 0.06	1.90 \pm 0.63	3.4 \pm 1.5	160 \pm 15
8	0.10 \pm 0.04	1.84 \pm 0.50	0.15 \pm 0.04	24.4 \pm 5.3	111 \pm 32	78 \pm 22	0.30 \pm 0.08	0.53 \pm 0.13	7.0 \pm 2.4	250 \pm 33
9	0.15 \pm 0.04	1.55 \pm 0.35	0.31 \pm 0.13	23.2 \pm 2.4	176 \pm 65	47 \pm 10	0.41 \pm 0.09	0.89 \pm 0.40	8.6 \pm 1.8	688 \pm 49
10	0.30 \pm 0.11	0.36 \pm 0.07	0.11 \pm 0.03	28.2 \pm 8.5	116 \pm 19	80 \pm 26	0.23 \pm 0.10	1.70 \pm 0.30	4.3 \pm 1.2	128 \pm 24
11	0.11 \pm 0.05	0.59 \pm 0.11	0.17 \pm 0.01	21.3 \pm 3.2	123 \pm 20	61 \pm 21	0.31 \pm 0.05	0.94 \pm 0.18	5.3 \pm 2.0	210 \pm 30
12	0.10 \pm 0.03	0.52 \pm 0.13	0.29 \pm 0.08	28.6 \pm 4.3	37 \pm 12	52 \pm 13	0.45 \pm 0.08	1.57 \pm 0.62	3.0 \pm 0.8	126 \pm 19
13	0.07 \pm 0.02	0.68 \pm 0.20	0.03 \pm 0.01	18.6 \pm 3.4	39 \pm 16	23 \pm 5	0.26 \pm 0.03	0.28 \pm 0.12	2.1 \pm 1.2	102 \pm 12
14	0.07 \pm 0.03	0.90 \pm 0.35	0.07 \pm 0.02	17.7 \pm 1.9	58 \pm 20	86 \pm 14	0.16 \pm 0.02	0.80 \pm 0.35	5.3 \pm 1.8	279 \pm 23
15	0.10 \pm 0.04	0.79 \pm 0.26	0.09 \pm 0.02	23.9 \pm 3.7	40 \pm 14	81 \pm 23	0.45 \pm 0.11	0.34 \pm 0.05	2.2 \pm 1.1	128 \pm 35
16	0.06 \pm 0.02	0.77 \pm 0.04	0.03 \pm 0.01	15.9 \pm 1.6	74 \pm 31	92 \pm 26	0.25 \pm 0.08	1.53 \pm 0.75	3.7 \pm 0.6	167 \pm 26
17	0.06 \pm 0.01	0.81 \pm 0.15	0.07 \pm 0.04	21.9 \pm 2.1	61 \pm 25	73 \pm 18	0.21 \pm 0.05	0.56 \pm 0.18	3.9 \pm 1.5	122 \pm 40
18	0.06 \pm 0.03	0.56 \pm 0.10	0.05 \pm 0.02	20.4 \pm 3.5	50 \pm 16	44 \pm 11	0.20 \pm 0.06	0.69 \pm 0.23	3.8 \pm 0.7	110 \pm 22
19	0.08 \pm 0.02	1.30 \pm 0.28	0.04 \pm 0.02	21.2 \pm 3.0	46 \pm 15	68 \pm 17	0.21 \pm 0.03	1.30 \pm 0.32	4.9 \pm 2.0	208 \pm 35
20	0.05 \pm 0.01	0.40 \pm 0.21	0.06 \pm 0.03	18.5 \pm 1.5	73 \pm 24	75 \pm 21	0.11 \pm 0.02	0.80 \pm 0.26	5.3 \pm 0.9	193 \pm 15
21	0.05 \pm 0.02	1.62 \pm 0.50	0.08 \pm 0.01	18.3 \pm 2.5	78 \pm 26	56 \pm 19	0.17 \pm 0.03	0.71 \pm 0.23	3.9 \pm 0.9	190 \pm 21
22	0.10 \pm 0.04	0.77 \pm 0.25	0.10 \pm 0.03	32.1 \pm 5.6	82 \pm 27	61 \pm 4	0.18 \pm 0.04	0.55 \pm 0.18	7.6 \pm 1.4	163 \pm 28
\bar{x}	0.11 \pm 0.06	1.11 \pm 0.71	0.13 \pm 0.09	23.7 \pm 5.4	97 \pm 60	74 \pm 26	0.30 \pm 0.10	0.98 \pm 0.58	5.3 \pm 2.3	270 \pm 150
Range	0.03-0.42	0.34-4.8	0.02-5.2	14.5-42.9	37-414	31-180	0.11-0.57	0.20-5.00	1.0-15	90-1187

TAB. 2 - Concentrazioni ($\mu\text{g.g}^{-1}$, p.s.) nel suolo superficiale di San Rossore.

St.	Hg	Pb	Cd	Zn	Fe
4	0.04 \pm 0.01	13.9 \pm 3.2	0.14 \pm 0.04	53.6 \pm 14.1	9520 \pm 673
14	0.12 \pm 0.03	25.5 \pm 4.3	0.18 \pm 0.07	47.6 \pm 15.4	11355 \pm 945
18	0.04 \pm 0.01	12.1 \pm 2.8	0.15 \pm 0.05	30.3 \pm 12.8	10490 \pm 639
St.	Mn	Co	Cr	Cu	Al
4	454 \pm 89	4.9 \pm 0.9	33.0 \pm 11.2	9.6 \pm 2.8	4340 \pm 783
14	397 \pm 56	5.2 \pm 0.6	38.8 \pm 10.0	9.2 \pm 1.8	6915 \pm 348
18	470 \pm 50	6.0 \pm 1.5	50.5 \pm 15.8	8.2 \pm 2.0	4360 \pm 288

ti in aree poco o affatto contaminate (anche se su specie diverse di conifere) (GODZIK *et al.*, 1979; THOMAS *et al.*, 1984). Assumendo come valori naturali o di 'background' per l'area di San Rossore quelli tra i più bassi di tab. 1, si può facilmente constatare che questi appartengono solo ai pini delle zone più interne. Sebbene per nessun elemento siano state riscontrate concentrazioni particolarmente elevate, suddividendo l'area di studio in fasce parallele alla costa, si rileva un decremento statisticamente molto significativo ($t \geq 2,201$; $P < 0,05$) nelle concentrazioni medie del Hg, Cd, Fe, Cu, Zn e Co (Fig. 2) procedendo dalla costa verso l'interno della Tenuta. Solo per il Mn, il Cr ed il Pb non si apprezzano variazioni significative. Nel caso del Pb, concentrazioni sensibilmente più elevate sono state rilevate sia nella fascia costiera che nei campioni raccolti in prossimità delle strade più transitate (Fig. 3).

Dall'analisi degli aghi di *P. pinea* e *P. pinaster* di 2 o 3 anni di età è stato possibile constatare che le concentrazioni medie di molti elementi aumentano sensibilmente con il tempo di esposizione (Fig. 4) ed ovviamente i campioni con i più alti coefficienti di accumulo sono localizzati nella fascia costiera. Tra gli elementi analizzati lo Zn e soprattutto il Mn ed il Cr non mostrano un evidente accumulo nel tempo.

DISCUSSIONE

Gli aghi di *P. pinea* e *P. pinaster* raccolti lungo la costa di San Rossore contengono concentrazioni di Hg, Cd, Fe, Zn, Cu e Co significativamente superiori a quelle riscontrate in campioni della stessa

specie ed età raccolti nelle zone più interne della Tenuta. Le emissioni degli autoveicoli circolanti all'interno della Tenuta probabilmente 'mascherano' un simile andamento anche per il Pb.

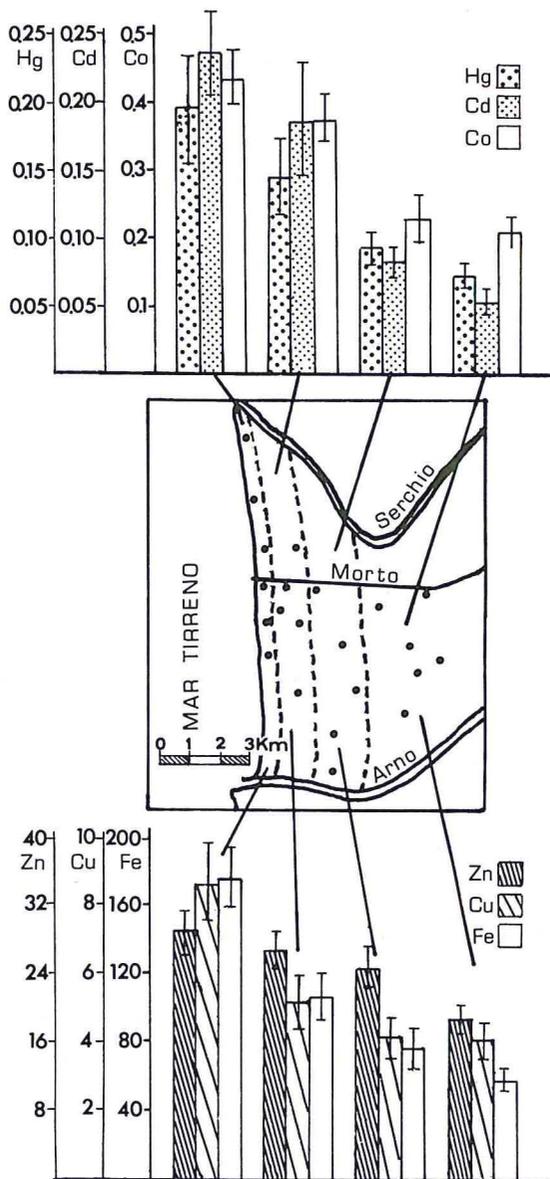


Fig. 2 - Diminuzione delle concentrazioni ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$; $\bar{x} \pm S_x$) di elementi in tracce con l'aumentare della distanza dalla costa.

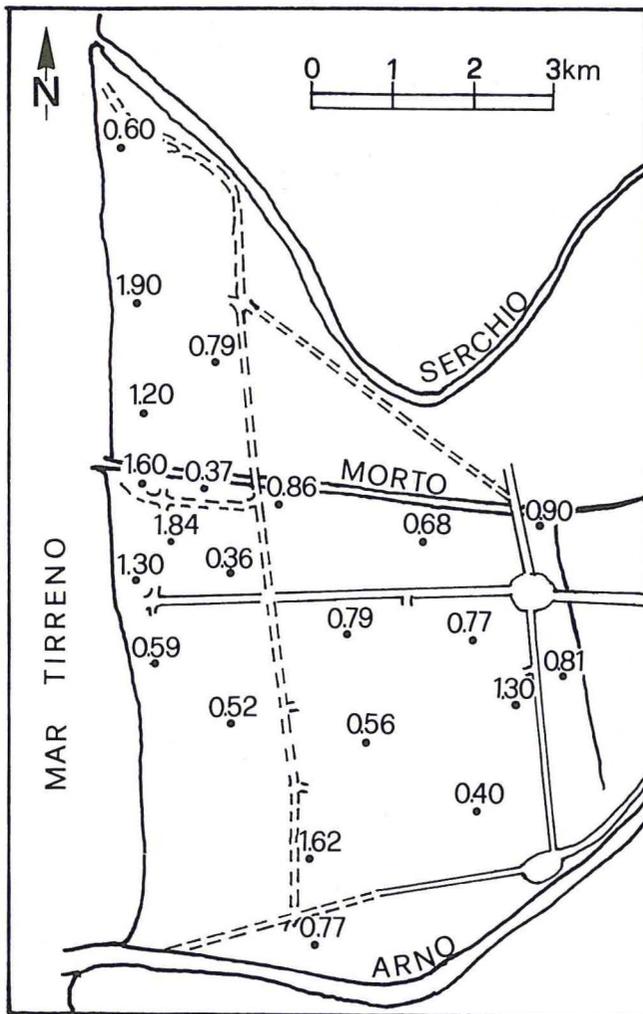


Fig. 3 - Distribuzione del Pb ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ p.s.) nei pini della Tenuta di San Rossore.

Poiché nella falda freatica (Relazione Comm. di Studio al Presidente della Repubblica, 1984) e nel suolo non sono stati rilevati indizi di contaminazione, l'accumulo di elementi in tracce negli aghi di pino sembra determinato soprattutto dalla deposizione dell'aerosol marino. Gli stessi elementi sono stati individuati in alte concentrazioni nei sedimenti superficiali dei fiumi che sfociano in questo tratto del Tirreno (BARGAGLI e D'AMATO, 1986). Solo il Cr, principale inquinante metallico dell'Arno, non sembra accumularsi nei pini. An-

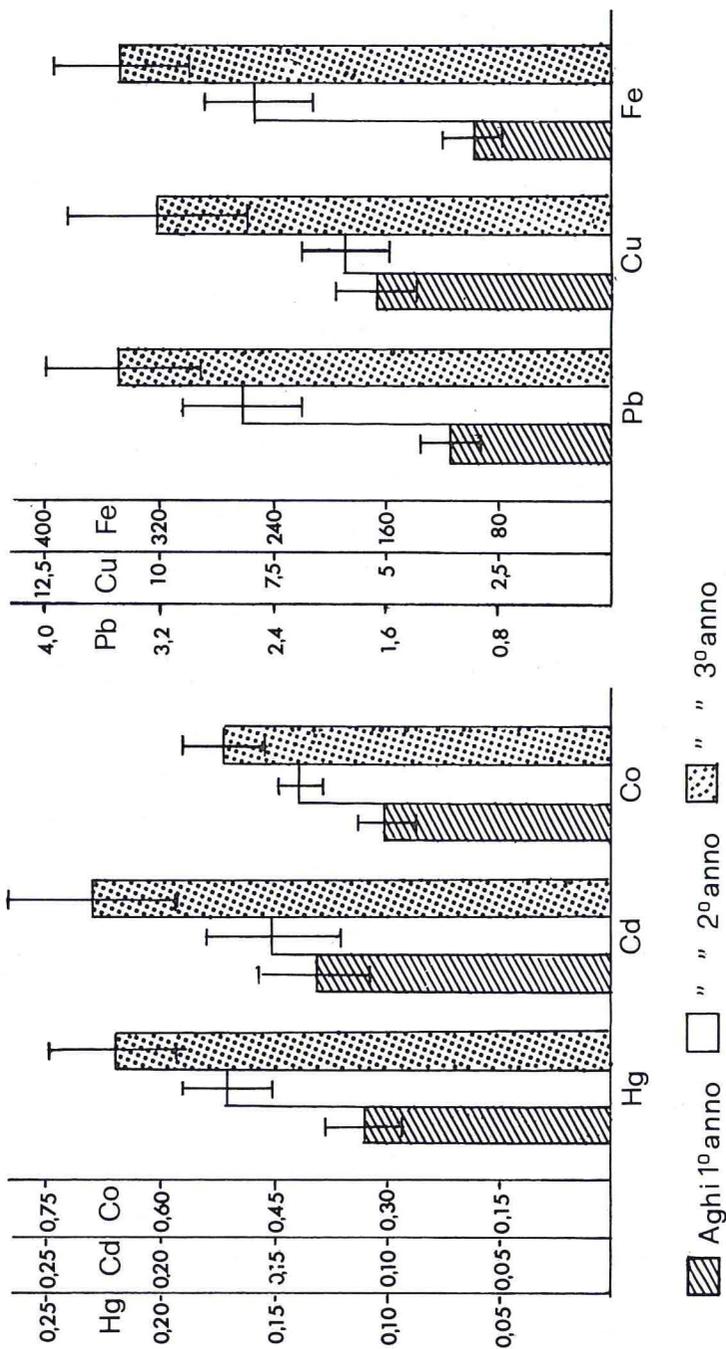


Fig. 4 - Incrementi annuali ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$; $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$) di elementi in tracce negli aghi di pino.

che BETTI e Coll. (1985) hanno constatato che nelle acque costiere di San Rossore il Cr generalmente è inferiore ai limiti di rilevabilità strumentale (4 ug.l^{-1}). Probabilmente, come nel caso del Mn, che nel passaggio dall'ambiente fluviale a quello marino va incontro a processi di precipitazione (BARGAGLI *et al.*, 1985), anche il Cr non viene rilasciato nella colonna d'acqua sovrastante. Fatta eccezione per questi due elementi, gli aghi di *P. pinea* e *P. pinaster* accumulano, in funzione della loro età, tutti gli altri metalli presi in considerazione, soprattutto nella fascia litoranea. Quindi queste due specie, come del resto è già stato rilevato in altre conifere e per un gran numero di contaminati ambientali (HARBOTTLE *et al.*, 1982; THOMAS *et al.*, 1984) possono essere utilmente impiegate come indicatori biologici. Da sottolineare ancora una volta, come dimostrano anche i risultati della presente ricerca, la necessità di eseguire confronti solo tra campioni della stessa età.

Sebbene l'aerosol marino costituisca la principale fonte di contaminazione per gli aghi di pino, non va trascurato che anche l'aria potrebbe contribuire all'apporto di elementi in tracce. Infatti, sebbene i principali inquinanti atmosferici siano contenuti entro livelli accettabili e provengano da E/SE (Relazione Comm. di Studio al Presidente della Repubblica, 1984) è pensabile che questi possano essere assunti più facilmente negli aghi di pino della fascia costiera con cuticola e stomi gravemente compromessi.

Da oltre un anno all'interno della Tenuta vengono raccolti campioni di licheni epifiti, organismi privi di stomi e di cuticola e dipendenti quasi esclusivamente dalle deposizioni dall'atmosfera per il loro nutrimento. La loro analisi per il contenuto di metalli dovrebbe permettere una migliore conoscenza della distribuzione di elementi nell'atmosfera della Tenuta e la loro incidenza sul deterioramento della vegetazione litoranea.

BIBLIOGRAFIA

- BARGAGLI R., BALDI F., LEONZIO C. (1985) - Trace metal assessment in sediment, molluscs and reed leaves in the Bay of Follonica (Italy). *Marine Environ. Res.*, **16**, 281-300.
- BARGAGLI R., D'AMATO M.L. (1986) - Trace metal contamination in marine and riverine sediments around San Rossore Park (central Italy). Inviato a *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*
- BETTI M., COLOMBINI M.P., FUOCO R., PAPOFF P. (1985) - Determination of heavy metals in fresh and sea waters of S. Rossore Park (Pisa). *Mar. Chem.*, **17**, 313-322.

- BUSSOTTI F., RINALLO C., GROSSONI P., GELLINI R., PANTANI F., CENNI E. (1984) - La moria della vegetazione costiera causata dall'inquinamento idrico. *Monti e Boschi*, **35** (6), 47-55.
- DOWDEN H.G.M., LAMBERT-MARCIA J. (1979) - Environmental factors associated with a disorder affecting tree species on the coast of New South Wales with particular reference to Norfolk Island pines *Araucaria heterophylla*. *Environ. Pollut.*, **19**, 71-84.
- GELLINI R., PAIERO P. (1969) - Osservazioni preliminari sulle cause del deperimento di alcune pinete litoranee toscane. *Boll. Ing.*, **12**, 24-27.
- GELLINI R., PANTANI F., BUSSOTTI F., RACANELLI E. (1981) - Sulla degradazione della vegetazione nella tenuta presidenziale di San Rossore. *Inquinamento*, **23** (10), 27-30.
- GELLINI R., PANTANI F., GROSSONI P., BUSSOTTI F., BARBOLANI E., RINALLO C. (1983) - Survey of the deterioration of the coastal vegetation in the park of San Rossore in central Italy. *Eur. J. For. Path.*, **13**, 296-304.
- GODZIK S., FLORKOWSKI T., PIOREK S., SASSEN M.M.A. (1979) - An attempt to determine the tissue contamination of *Quercus robur* L. and *Pinus silvestris* L. foliage by particular zinc and lead smelters. *Environ. Pollut.*, **18**, 97-106.
- HARBOTTLE G., MILLER R., SAYRE E.V. (1982) - Pine needles as sensors of atmospheric pollution. *Water, Air, and Soil Pollut.*, **18**, 273-286.
- KIM Y.S., ZEITLIN M. (1971) - Separation of trace-metal ions from sea water by adsorptive colloid flotation. *Chem. Commun.*, **13**, 672.
- LAPUCCI P.L. (1967) - La contaminazione marina: i detergenti come concausa della compromissione delle pinete costiere tirreniche. *Terme e Riviere*, n. 4.
- LAPUCCI P.L., GELLINI R., PAIERO P. (1972) - Contaminazione chimica dell'acqua marina quale causa di moria dei pini lungo le coste tirreniche. *Ann. Accad. Science Forestali*, **21**, 323-358.
- NILSSON I. (1972) - Accumulation of metals in spruce needles and needle litter. *Oikos*, **23**, 132-136.
- ORMROD D.P. (1984) - Impact of trace element pollution on plants. In «Air pollution and plant life», Treshow M. (ed.), John Wiley and Sons, Chichester, 291-319.
- PIOTROWICZ S.R., RAY BARBARA J., HOFFMAN G.L., DUCE R.A. (1972) - Trace metal enrichment in the sea-surface microlayer. *J. geophys. Res.*, **77**, 5243-5254.
- PITMAN M.G., DOWDEN H.G.M., GRIEVE A.M., HUMPREYS F.R., LAMBERT-MARCIA J., SCHELTENA H. (1977) - Surfactant induced salt damage to beachfront vegetation. *Aust. Nat. Hist.*, **9**, 74-81.
- RELAZIONE DELLA COMMISSIONE DI STUDIO AL SIG. PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA (1984) - Degradazione della vegetazione nella Tenuta di San Rossore. Roma, Luglio 1984, 153 pp.
- RINNE R.J.K., BARCLAY-ESTRUP P. (1980) - Heavy metals in a feather moss, *Pleurozium schreberi*, and in soils in NW Ontario, Canada. *Oikos*, **34**, 59-67.
- THOMAS W., RUHLING A., SIMON H. (1984) - Accumulation of airborne pollutants (PAH, chlorinated hydrocarbons, heavy metals) in various plant species and humus. *Environ. Pollut.*, **36**, 295-310.

(ms. pres. il 13 marzo 1986; ult. bozze il 27 marzo 1987)