

Distribuzione di licheni epifiti in un'area industriale dotata di rete di monitoraggio chimico dell'inquinamento atmosferico

Su di un'area ad elevata concentrazione industriale e con caratteristiche meteo-climatiche e geografiche uniformi è stata valutata la distribuzione e la copertura percentuale dei principali licheni epifiti foliosi.

Le mappe di distribuzione lichenica sono state confrontate sia con modelli diffusivi fisico-matematici del biossido di zolfo che con i valori medi annuali effettivamente misurati tramite una rete di monitoraggio chimico operante sul territorio esaminato.

This paper reports the distribution and the percentage cover of the most widespread epiphytic foliose lichens in an heavily industrialized area.

Climatical and geographic conditions are considered.

Cartographic representations of the distribution maps have been correlated with the annual average concentrations of airborne sulphur dioxide and with theoretical models of SO₂ diffusion.

Introduzione

Dagli anni della rivoluzione industriale ad oggi le immissioni in atmosfera dovute alle attività umane sono enormemente aumentate.

La maggior parte delle sostanze comunemente ritenute tra i principali inquinanti, come l'ossido di carbonio, il biossido di zolfo, gli ossidi di azoto, gli idrocarburi ed il particolato atmosferico possono, all'interno di aree urbane ed industrializzate, raggiungere concentrazioni notevolmente superiori ai livelli di fondo naturali.

Emerge, quindi, la necessità di una stretta sorveglianza dell'inquinamento atmosferico nelle aree a rischio.

A tal fine possono venire utilizzate delle reti di monitoraggio costituite da centraline automatizzate capaci di misurare periodicamen-

te i principali parametri meteo e le concentrazioni di numerose sostanze (biossido di zolfo, ossidi di azoto, polveri, ecc.).

Purtroppo tali sistemi forniscono informazioni inevitabilmente puntiformi e quindi corrispondenti all'area immediatamente circostante ogni centralina.

Inoltre, il numero di centraline localizzabili sul territorio è inevitabilmente limitato a causa degli elevati costi.

Si rendono allora necessari sofisticati (ma pur sempre approssimativi) modelli fisico-matematici - basati sulle emissioni note - che consentono in via presuntiva di conoscere la distribuzione spaziotemporale degli inquinanti, e di ottimizzare la distribuzione sul territorio delle centraline.

Nel caso in cui i modelli dimostrino di rappresentare la distribuzione reale degli inquinanti, "rita-

rando" le curve di isoinquinamento fornite dai modelli con i valori reali forniti dalle centraline è poi possibile avere una idea di massima della effettiva distribuzione delle sostanze inquinanti.

Nessuna informazione viene fornita da questi metodi riguardo ad eventuali effetti cronici o sinergici sugli organismi viventi, e neanche riguardo al possibile accumulo nell'ecosistema di composti tossici scarsamente degradabili.

Per superare alcune di queste limitazioni si stanno sempre più sviluppando e standardizzando metodologie che impiegano organismi vegetali, ed in particolare i licheni, come indicatori biologici della qualità dell'aria.

Tali metodi sono stati introdotti dopo l'osservazione che in prossimità di aree urbane ed industriali la flora lichenica subisce profonde modificazioni fino alla scomparsa definitiva di certe specie, con conseguente modificazione delle comunità (Le Blanc e De Sloover, 1970; Le Blanc e Rao, 1973a; Deurelle, 1978)

Nella ricerca delle cause di questo fenomeno, l'inquinamento atmosferico è l'ipotesi più accreditata, anche se non può essere trascurata l'influenza del microclima particolarmente arido degli ambienti cittadini (Nash, 1973; Nimis 1985). Alcuni autori (Hawksworth e Rose, 1970; Gilbert, 1970) hanno correlato il declino della vegetazione

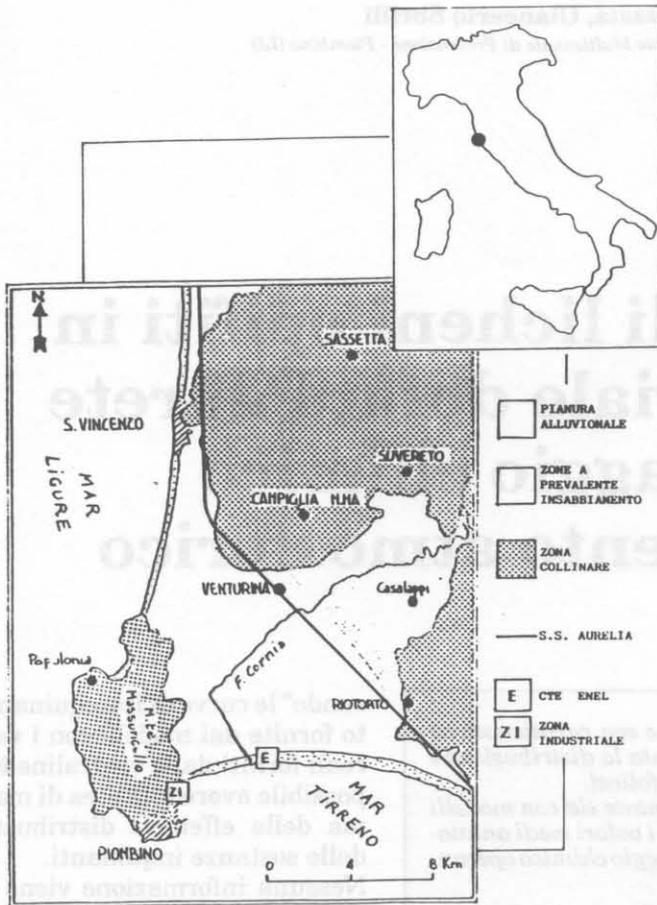


Fig. 1 - Il comprensorio della Val di Cornia.

lichenica con i livelli di SO_2 in aria; Hawksworth (1973) sottolinea che il biossido di zolfo è il principale agente tossico nei confronti dei licheni. Esso determina, tra l'altro, alterazioni di colore, dimensioni e struttura del tallo, riduzione dell'efficienza respiratoria e fotosintetica con progressiva degradazione della clorofilla (Gilbert, 1968; Nash, 1973; Le Blanc e Rao, 1973b). Un ruolo non trascurabile può essere esercitato anche dall'acido fluoridrico, sulle brevi distanze a partire dalla fonte inquinante,

cienza respiratoria e fotosintetica con progressiva degradazione della clorofilla (Gilbert, 1968; Nash, 1973; Le Blanc e Rao, 1973b). Un ruolo non trascurabile può essere esercitato anche dall'acido fluoridrico, sulle brevi distanze a partire dalla fonte inquinante,

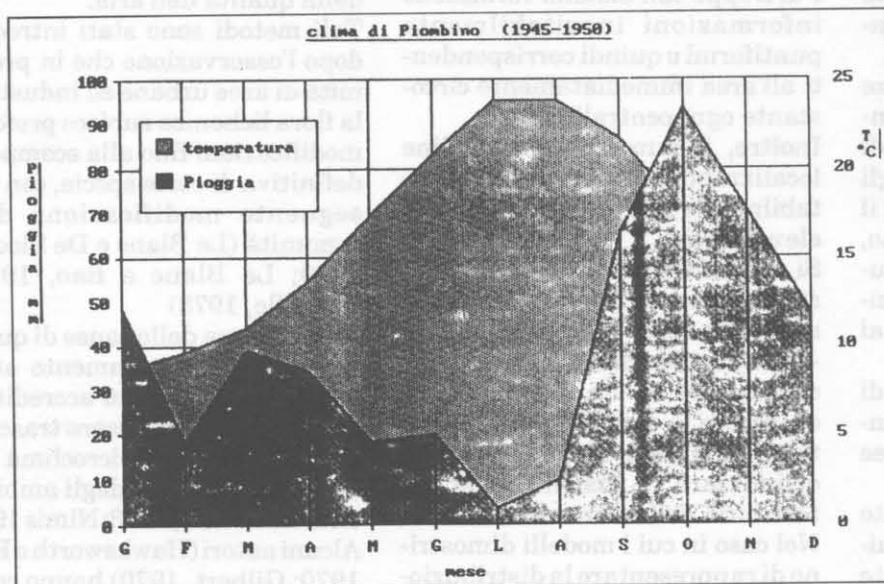


Fig. 2 - Diagramma climatico della città di Piombino.

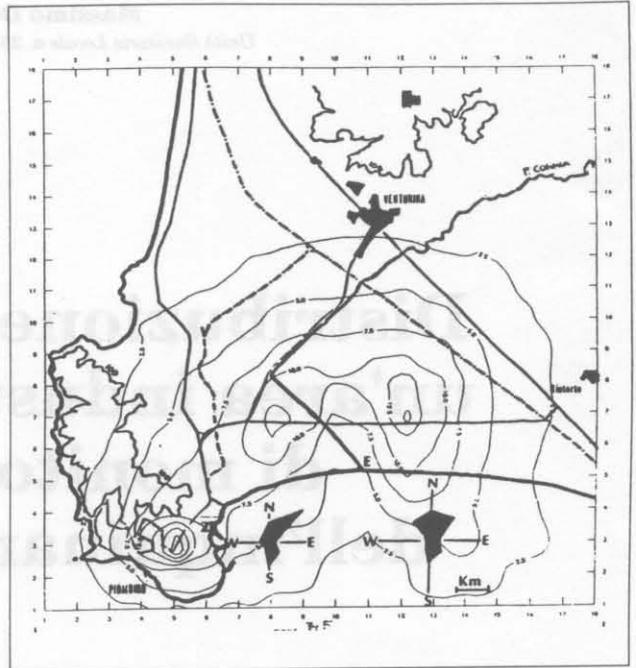


Fig. 3 - Val di Cornia, modello diffuso CDM, le concentrazioni di SO_2 sono riferite al suolo ed espresse in ppb. Comune di Piombino, 1983.

(Hawksworth, 1973) e dall'eventuale effetto combinato di altre sostanze sconosciute e difficilmente misurabili (Liebendörfer et al., 1988).

Numerose peculiarità dei licheni ne fanno degli utili bioindicatori (Spampani, 1982; Anderson e Treshow, 1984).

Ad esempio:

- a) l'attività fotosintetica è continua tutto l'anno
- b) il metabolismo molto lento causa tassi di crescita molto ridotti e grande longevità.

Questo permette l'integrazione degli effetti di danno cronico che si verificano nel corso degli anni

- c) l'assenza di stomi che regolino gli scambi con l'esterno, o di strati cerosi protettivi, determina una stretta dipendenza dei licheni dalla qualità dell'aria
- d) i licheni, a differenza dei vegetali superiori, non si spogliano delle parti cariche di sostanze tossiche (come gli aghi delle conifere o le foglie autunnali delle latifoglie). Questo determina un maggiore accumulo nel tallo di sostanze non degradabili.

Le informazioni deducibili dall'uso dei licheni come indicatori della qualità dell'aria sono originali e complementari a quelle desumibili-

li dalle indagini chimiche.

In autorevoli studi le reti di monitoraggio chimico sono state affiancate da sistemi di monitoraggio biologico, con l'obiettivo di intercalibrare le due metodiche (Hawksworth e Rose, 1970; Gilbert, 1970; Liebendörfer et al., 1988).

Tuttavia le principali metodologie di biomonitoraggio sono state messe a punto in Europa nord-occidentale.

Ciò comporta notevoli difficoltà per una loro applicazione in zone a clima mediterraneo.

In questi ultimi anni importanti esperienze sono state svolte anche in Italia (Caniglia et al., 1978; Nimis, 1985).

Nello spirito della nostra indagine c'è stato il desiderio di saggiare le potenzialità di un metodo molto semplice, applicato però ad una zona a spiccato clima mediterraneo.

Lo studio consiste nella realizzazione di una mappa di distribuzione di alcuni dei licheni foliosi epifiti più comuni in un territorio soggetto a fonti inquinanti di notevole rilevanza ed in cui già da anni opera una rete di monitoraggio chimico. Quanto sopra è stato progettato allo scopo di cercare una prima correlazione tra la distribuzione dei licheni, i livelli di SO_2 e di altri inquinanti ed eventuali altri fattori antropici insistenti sull'area, in vista di un ulteriore biomonitoraggio dell'inquinamento mediante i licheni, basato su altre tecniche più raffinate (metodi che utilizzano misure di copertura e frequenza di tutte le specie licheniche presenti, trapianti, bioaccumulo).

Approcci metodologici comunemente riferiti in letteratura

L'utilizzazione pratica di licheni come bioindicatori si articola attualmente attraverso tre principali metodiche:

a) metodi quali-quantitativi che conducono alla costruzione di *cartografie* in cui si cerca di correlare le variazioni di distribuzione dei consorzi lichenici con l'inquinamento atmosferico (Hawksworth,

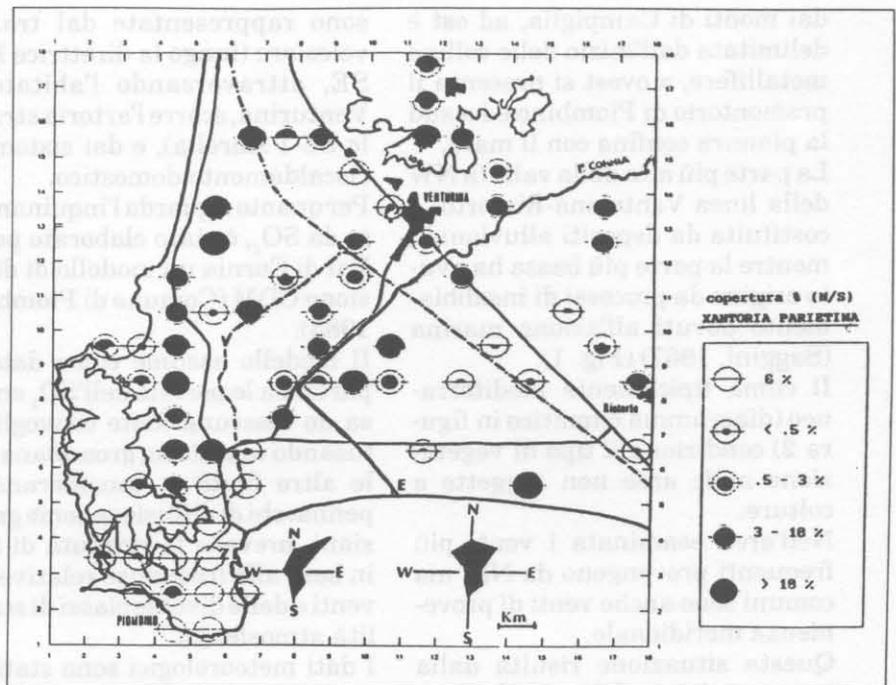


Fig. 4 - Val di Cornia, copertura percentuale N/S di Xanthoria parietina.

1973; Deruelle, 1978; Caniglia et al., 1978).

b) *trapianti* di licheni in aree inquinate (Le Blanc e Rao, 1973; Bendetta, 1977).

c) *utilizzo* dei licheni come bioaccumulatori (Bargagli et al., 1985).

Le varie metodologie proposte si basano su alcuni punti essenziali come, ad esempio, quelli di seguito riportati - la cui osservazione permette di ottenere risultati abbastanza attendibili, confrontabili e riproducibili (Skye, 1968; Hawksworth, 1973):

a) *le stazioni di prelievo*: la loro ubicazione deve essere determinata dalle caratteristiche meteorologiche, vegetazionali e geografiche del territorio in esame. Di grande importanza sono la valutazione dei venti dominanti e l'esclusione di ambienti con condizioni microclimatiche anomale per l'area in studio o particolarmente protetti dalla diffusione di inquinanti (alberi cresciuti in zone boschive, in strette vallate, a contatto di muri, ecc.).

b) *il substrato*: il substrato utilizzato deve essere omogeneo. A tale scopo è consigliabile impiegare esclusivamente licheni epifiti cresciuti su cortecce con caratteristi-

che simili (pH, tessitura, friabilità, ecc.).

E' invece sconsigliabile l'impiego di licheni terricoli o liticoli a causa dell'enorme variabilità delle caratteristiche fisico-chimiche del suolo e delle rocce.

Gli alberi utilizzati (meglio se una sola specie) devono essere sufficientemente isolati, non inclinati o malati, e con corteccia preferibilmente acida (querce, tigli, noci, aceri, ecc.).

c) *le specie licheniche*: possono essere costituite da tutte quelle che crescono sul substrato scelto, oppure solo da una parte di esse; in quest'ultimo caso le specie devono essere rappresentative delle aree esaminate e non essere né troppo sensibili né troppo resistenti agli inquinanti.

Caratteristiche geografiche, climatiche e scenario antropico dell'area in esame

L'area in esame è costituita dalla valle del fiume Cornia, nella zona litoranea della Toscana centrale (Fig. 1).

La pianura della Val di Cornia si imposta all'interno di un bacino a suo modo molto originale.

A nord presenta una forte struttura positiva a guisa di bastione data

dai monti di Campiglia, ad est è delimitata dall'inizio delle colline metallifere, a ovest si presenta il promontorio di Piombino ed a sud la pianura confina con il mare.

La parte più alta della valle (a NW della linea Venturina-Riotorto) è costituita da depositi alluvionali, mentre la parte più bassa ha avuto origine da processi di insabbiamento dovuti all'azione marina (Saggini, 1967) (Fig. 1).

Il clima tipicamente mediterraneo (diagramma climatico in figura 2) condiziona il tipo di vegetazione nelle aree non soggette a colture.

Nell'area esaminata i venti più frequenti provengono da NE, ma comuni sono anche venti di provenienza meridionale.

Questa situazione risulta dalla sovrapposizione della circolazione secondaria atmosferica con la circolazione locale (brezze, ecc.) (Comune di Piombino, rapporto commissione esperti, 1979).

Abbiamo rappresentato le frequenze relative dei venti per direzione di provenienza nelle "rose" riportate ad esempio in figura 3, relative alle stazioni meteo di Tolla Alta (Piombino) e Tor del Sale (CTE ENEL).

Nell'estremità meridionale del promontorio di Piombino è situato l'agglomerato urbano della città omonima, a ridosso del quale si trovano industrie metalmeccaniche, un centro siderurgico a ciclo integrale e, a circa sei chilometri di distanza in direzione est, una centrale termoelettrica ENEL con due gruppi da 320 MW di potenza ciascuno (è prevista la prossima entrata in esercizio di altri due gruppi di uguale potenza).

Le emissioni prevalenti in atmosfera da parte degli impianti industriali presenti sono costituite da biossido di zolfo (complessivamente circa 10 tonnellate/ora), ossidi di azoto, polveri respirabili e grossolane ed alcuni microinquinanti. Dette emissioni sono per la maggior parte convogliate tramite camini di varia altezza (fino ai 200 metri della CTE ENEL), ma esistono anche emissioni non convogliate e quindi riferite a livelli prossimi a quello del suolo.

Altre importanti fonti inquinanti

sono rappresentate dal traffico veicolare (lungo la direttrice NW-SE, attraversando l'abitato di Venturina, scorre l'arteria stradale SS-1 Aurelia), e dai sistemi di riscaldamento domestico.

Per quanto riguarda l'inquinamento da SO₂, è stato elaborato per la Val di Cornia un modello di diffusione CDM (Comune di Piombino, 1983).

Il modello assume come dato di partenza le portate dell'SO₂ emessa da ciascuna fonte convogliata (usando una stima grossolana per le altre fonti) e, considerando i pennacchi di diffusione come gaussiani, prevede la ricaduta di SO₂ in base alle frequenze relative dei venti e delle diverse classi di stabilità atmosferica.

I dati meteorologici sono stati ricavati da 10 anni di misure da centraline fisse. Nel modello viene considerata l'orografia, mentre vengono trascurati gli effetti di mixing dovuti alle brezze e le situazioni di inversione termica (Fig. 3).

Materiali e metodi

La metodologia da noi scelta è stata quella di costruire una mappa della copertura percentuale degli alberi

da parte di alcune specie di licheni foliosi facilmente identificabili.

Per uniformare le caratteristiche fisico-chimiche del substrato abbiamo scelto una sola specie arborea.

La scelta è caduta su *Robinia pseudoacacia* in quanto comune su tutto il territorio, anche in zone fortemente urbanizzate.

Inoltre la scorza poco acida, tamponando l'acidità atmosferica, consente la presenza di qualche lichene anche vicino alle sorgenti inquinanti.

Data la rapida crescita della robinia, abbiamo scelto per il rilievo solo esemplari "sani" di almeno 20 cm di diametro (almeno 5-10 anni circa di età).

I rilevamenti sono stati effettuati tra luglio e ottobre 1989.

Nella ricerca degli alberi adatti a definire le stazioni di rilevamento (costituite ciascuna da almeno 10 esemplari) abbiamo cercato di seguire un reticolo cartografico a base chilometrica per i dintorni di Piombino e bichilometrica per le zone più distanti.

In Piombino sono state fissate stazioni ovunque possibile.

Quando possibile, sono stati eseguiti i rilievi su robinie lontane dalle strade principali (almeno quando queste attraversavano

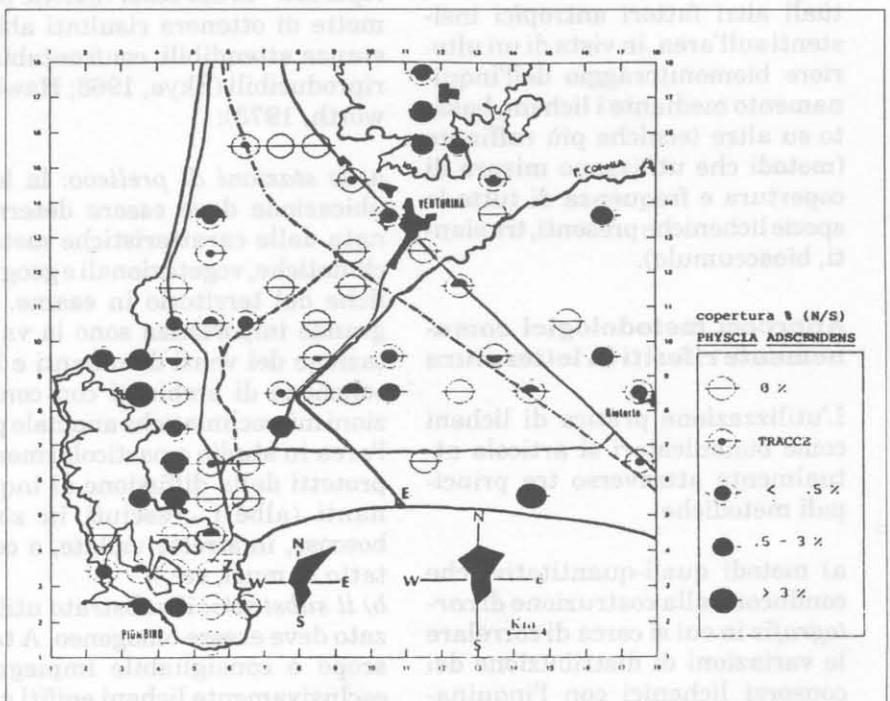


Fig. 5 - Val di Cornia, copertura percentuale N/S di *Physcia adscendens*.

zone non urbanizzate).

Il totale delle stazioni prese in esame è stato di 81.

Il metodo standard impiegato per il rilevamento della copertura lichenica prevedeva l'uso di un reticolo di 40x50 cm a 10 maglie, da appoggiare sul tronco a circa 1,5 metri di altezza.

Per ogni stazione è stata rilevata la copertura percentuale dei licheni a nord e a sud di ciascun albero, con una risoluzione del 5% (e di qualche unità percentuale nei casi di coperture molto basse).

L'inevitabile errore sistematico dovuto alla valutazione soggettiva della copertura è stato ridotto intercalibrando le valutazioni dei due autori.

Tuttavia i valori di copertura ottenuti sono ancora affetti da errore soggettivo, specie nei valori più bassi.

La scelta dei licheni da mappare è avvenuta dopo un'indagine preliminare sulle robinie della zona: i licheni foliosi più frequenti in tutta la pianura sono *Xanthoria parietina*, *Physcia adscendens* e *Physcia biziana*, caratteristici della associazione lichenica nota come "Xanthorion".

Comune risulta anche *Hyperphyscia adglutinata* (subcrostoso), mentre più rari e localizzati risultano *Physcia semipinnata*, *Physcia orbicularis*, *Physcia hirsuta*, *Ramalina* sp.

Nell'ambiente collinare (ma anche in alcune zone umide del retroduna costiero) compaiono su robinia altri generi (Parmelie, Ramaline, ecc.), caratteristici di altre associazioni licheniche.

Limitando l'area di studio alla pianura abbiamo lavorato in una zona in cui i soli licheni foliosi comuni su Robinia sono *Xanthoria parietina*, *Physcia adscendens* e *Physcia biziana*, che sono stati pertanto scelti per il mappaggio. È da notare che la complessità della comunità dei licheni foliosi su robinia non cresce sostanzialmente allontanandosi dalle zone inquinate, rimanendo limitata a non più di 5 specie. Viceversa su altri substrati (olmo, quercia, frassino, ecc.) la comunità diviene sostanzialmente più ricca avvicinandosi alla zona collinare.

La velocità di crescita di *Physcia adscendens* e *Xanthoria parietina* è stata stimata valutando le dimensioni di alcuni talli cresciuti su cortecce di platano ed eucalipto: lo scortecciamento annuo di tali piante lascia sulla superficie della corteccia dell'anno in corso alcune "isole" di corteccia degli anni precedenti, facilmente databili.

Dalle dimensioni dei talli presenti sulle isole è possibile stimare la velocità di crescita del lichene.

Ad esempio talli di *Physcia adscendens* di circa 1 cm di diametro nell'area in studio sembrano avere un'età di 4-5 anni.

Talli della stessa specie trovati su robinie anche vetuste presentano dimensioni inferiori al centimetro nelle zone periurbane, e fino a circa 2 cm allontanandosi da esse. Supponendo che la velocità di crescita su robinia non sia inferiore a quella su eucalipto e platano, la scelta per il rilevamento di alberi aventi almeno 5-10 anni di età ci sembra appropriata, in quanto su di essi hanno avuto potenzialmente il tempo di crescere talli facilmente individuabili.

Per l'identificazione delle specie licheniche menzionate nel presente lavoro sono stati utilizzati i seguenti testi: I Macrolicheni d'Italia (Nimis, 1987) e le chiavi analitiche semplificate relative al Pro-

getto licheni 1989 (WWF Italia - Università di Trieste, 1989).

Risultati e considerazioni

Le schede relative alle 81 stazioni di prelievo sono state elaborate calcolando il valor medio e la deviazione standard delle rispettive coperture percentuali a Nord e a Sud, nonché elaborando la media di dette percentuali.

Per *Physcia biziana*, a causa della presenza sui tronchi solo di pochi talli isolati (anche se talvolta di grandi dimensioni) si è rilevata soltanto la assenza/presenza/presenza superiore al 5%.

Nelle figure 4, 5 e 6 l'area esaminata è stata suddivisa in quadranti chilometrici.

I cerchietti rappresentano la copertura percentuale media in ogni quadrante per quanto riguarda le coperture percentuali a nord e a sud (settori alto e basso di ogni cerchietto), le aree scoperte sono le zone in cui non è stato possibile effettuare i prelievi.

I dati sono stati ulteriormente elaborati con l'intento di costruire una mappa in cui vengono evidenziate le linee che uniscono i punti di uguale copertura lichenica come media delle due percentuali N/S (curve isolicheniche).

Le percentuali di copertura media

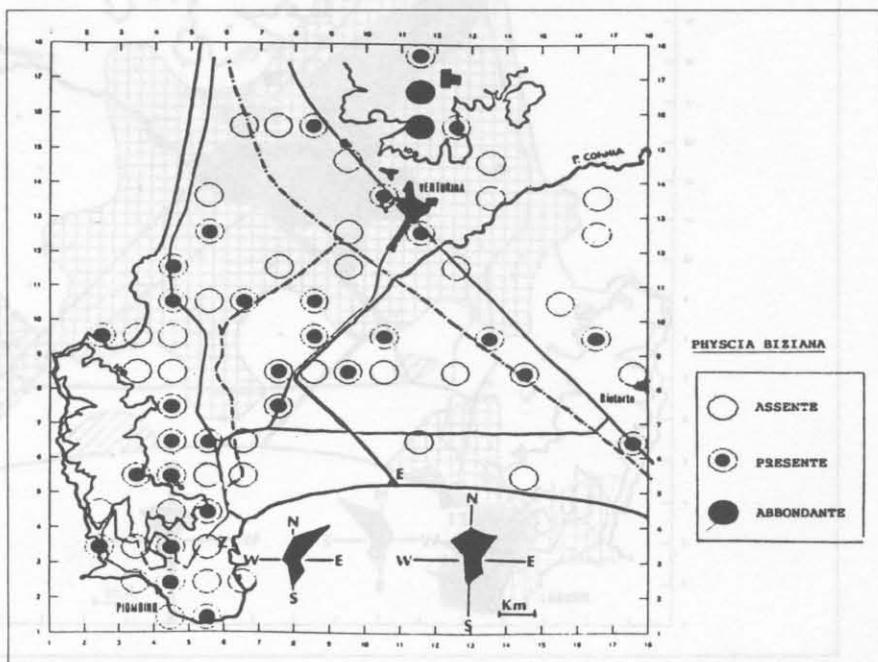


Fig. 6 - Val di Cornia, copertura di *Physcia biziana*

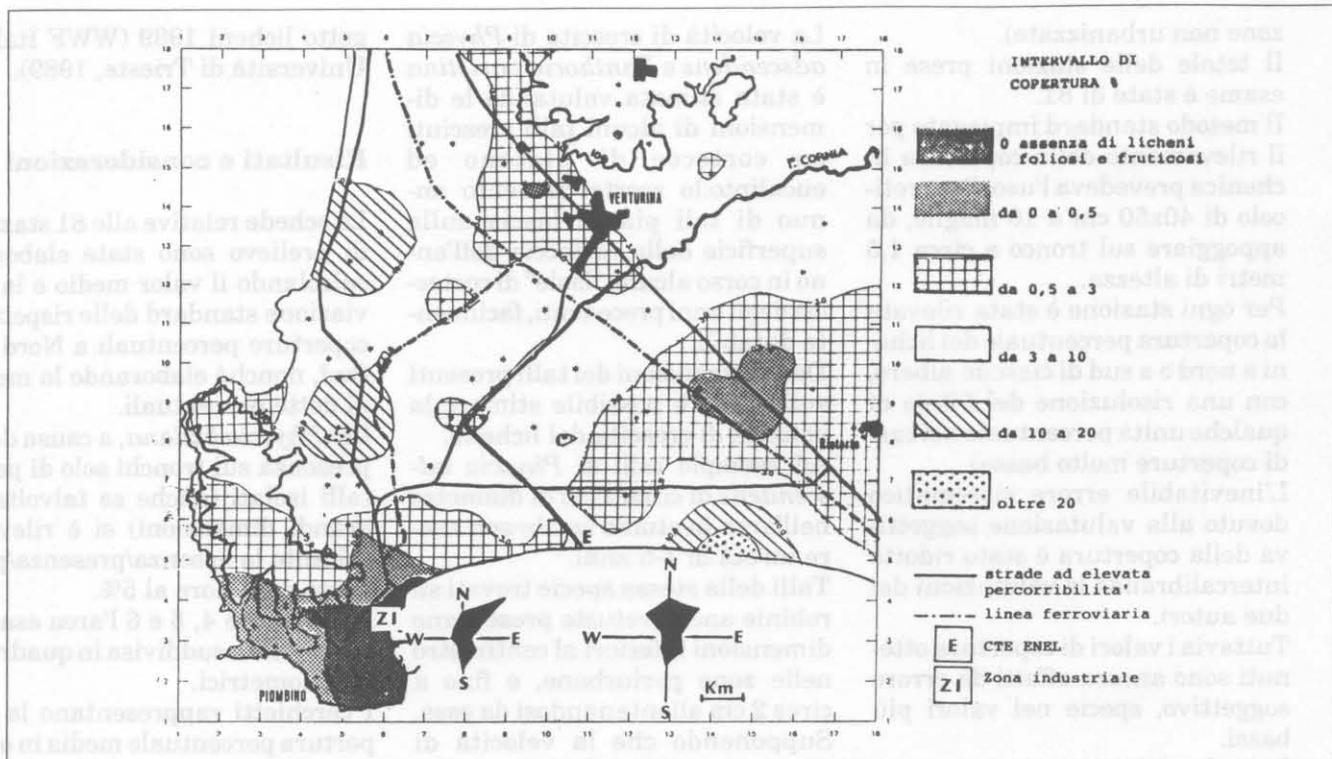


Fig. 7 - Val di Cornia, copertura percentuale di *Xanthoria parietina*.

relative ad ogni stazione sono state arbitrariamente suddivise in classi, come riportato in tabella 1. La distinzione tra le classi B, C per *Xanthoria parietina* e A1, B, C per *Physcia adscendens* è ovviamente soggetta a notevole imprecisione,

dati i valori estremamente bassi di copertura percentuale. E' poi il caso di notare che la precisione delle curve, ottenute mediante interpolazione, è tanto più elevata quanto più sono frequenti localmente le stazioni di prelievo.

Le zone in cui le stazioni sono assenti presentano curve del tutto inattendibili (es. zona del promontorio di Piombino, che è stata cancellata).

Nelle figure 7, 8, 9 e 10 le mappe licheniche sono sovrapposte su

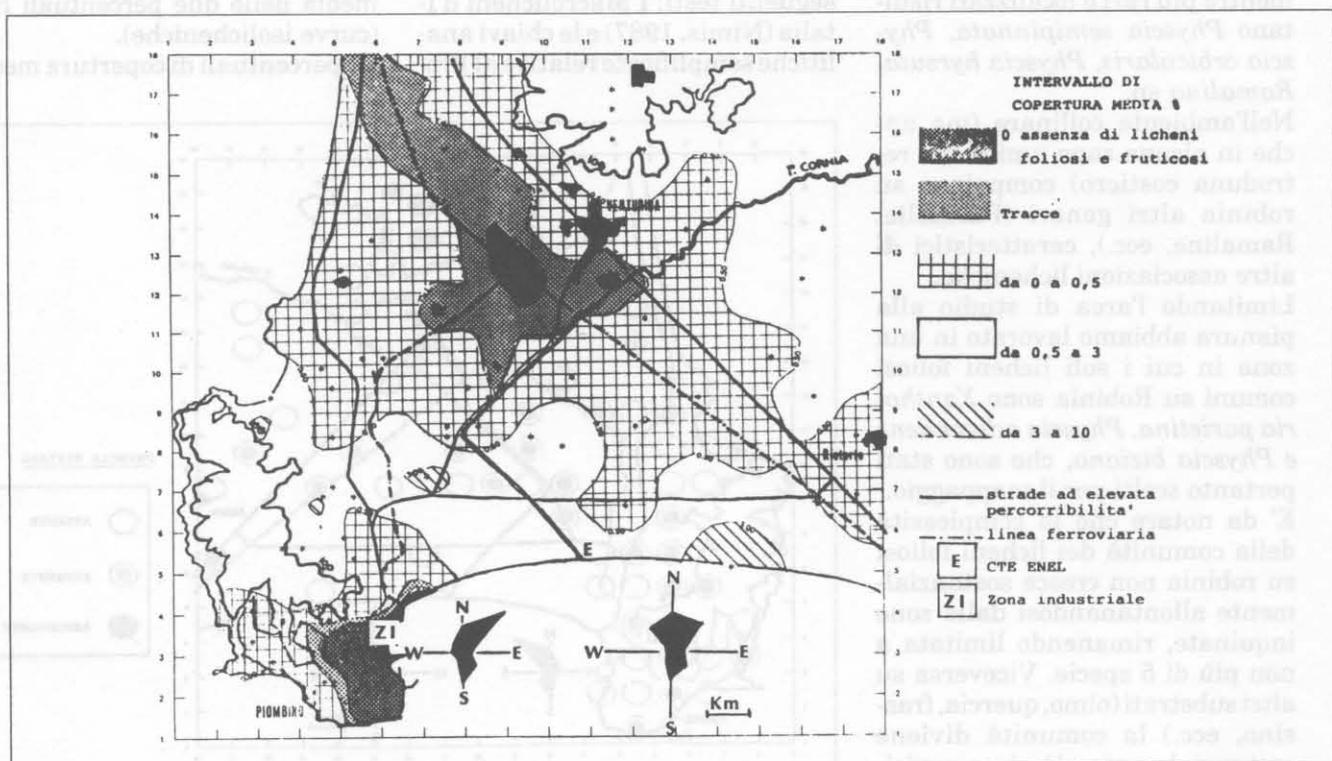


Fig. 8 - Val di Cornia, copertura percentuale di *Physcia adscendens*.

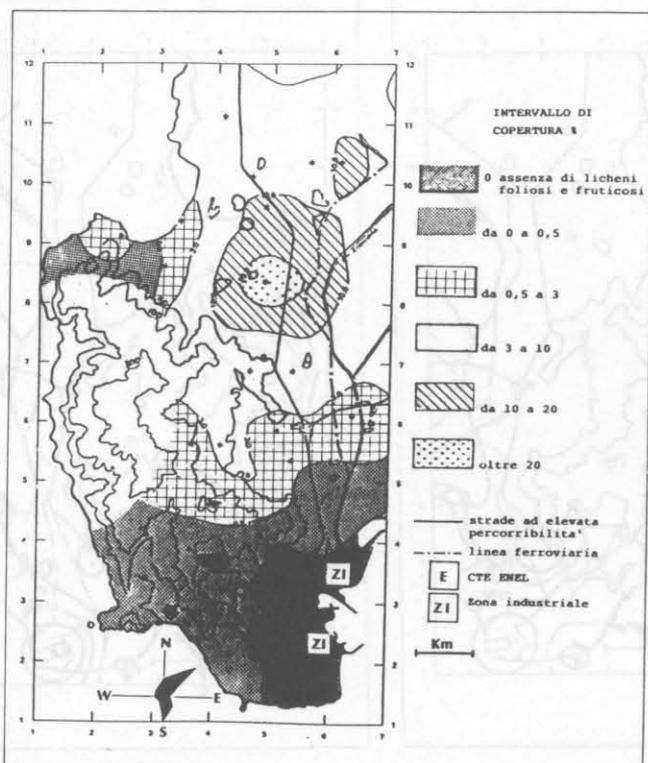


Fig. 9 - Promontorio di Piombino, copertura percentuale di *Xanthoria parietina*.

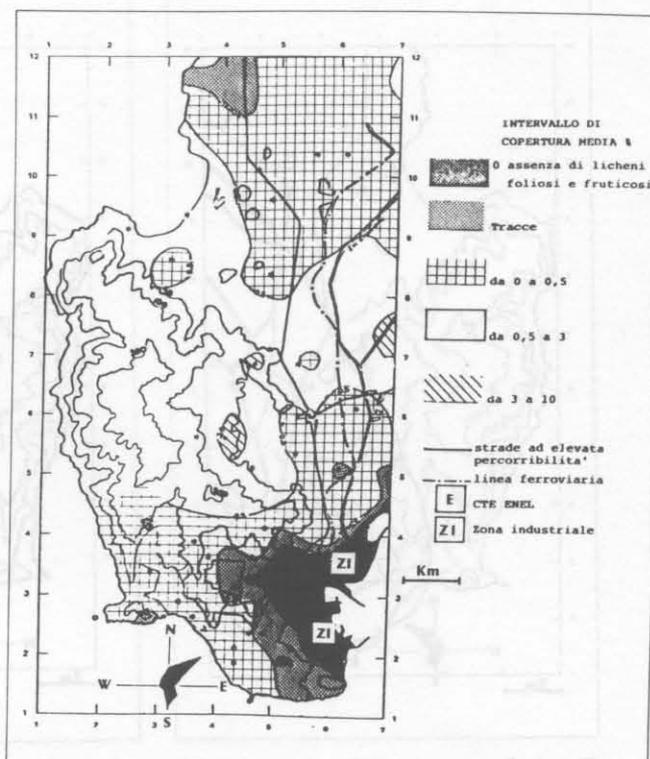


Fig. 10 - Promontorio di Piombino, copertura percentuale di *Physcia adscendens*.

cartografie della Val di Cornia e del promontorio di Piombino in particolare.

È possibile correlare visivamente la distribuzione della copertura percentuale con le principali caratteristiche naturali ed antropi-

che del territorio esaminato, come la sua geografia, le zone urbane, le aree industriali e le principali vie di comunicazione.

In ogni cartina sono stati evidenziati inoltre i venti dominanti.

Interessante è, inoltre, il confron-

to tra le linee isolicheniche e la cartografia che evidenzia la distribuzione del biossido di zolfo in atmosfera, sia calcolato con opportuni modelli che misurato tramite le centraline (Figg. 3, 11, 12, 13, 14).

La distribuzione delle specie licheniche all'interno di un'area relativamente omogenea come quella da noi esaminata dipende sia dalle caratteristiche ecologiche delle specie utilizzate che dalla presenza di fattori antropici (aree urbanizzate, zone industriali, zone agricole, ecc.).

Dai rilevamenti è emerso che nel territorio della Val di Cornia il numero e il tipo di specie di licheni foliosi che crescono su *Robinia pseudoacacia* è relativamente costante.

È possibile notare soltanto una variabilità nella percentuale di copertura per i licheni di più frequente riscontro.

Nelle figure 12 e 13 è evidenziata la distribuzione dell' SO_2 sul promontorio di Piombino così come prevista dal modello diffusivo (media annua in ppb/m^3) (Fig. 12) e così come determinata tramite la rete di monitoraggio (media delle mediane degli anni 1983-1987, in

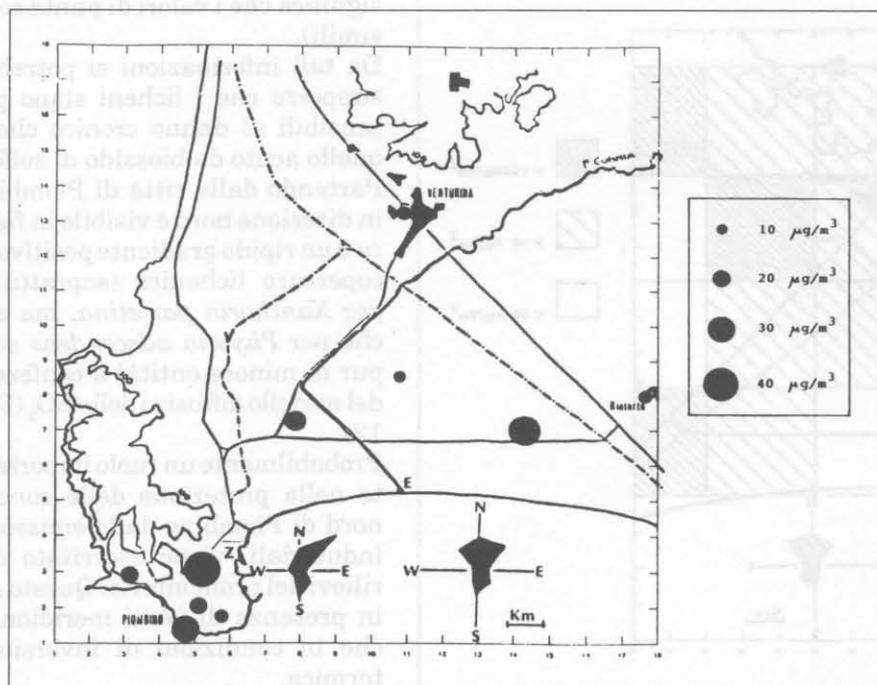


Fig. 11 - Val di Cornia, rappresentazione grafica della media delle mediane della concentrazione di biossido di zolfo misurata negli anni 1983 - '87 da ogni stazione della rete di monitoraggio chimico, i valori sono espressi come $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

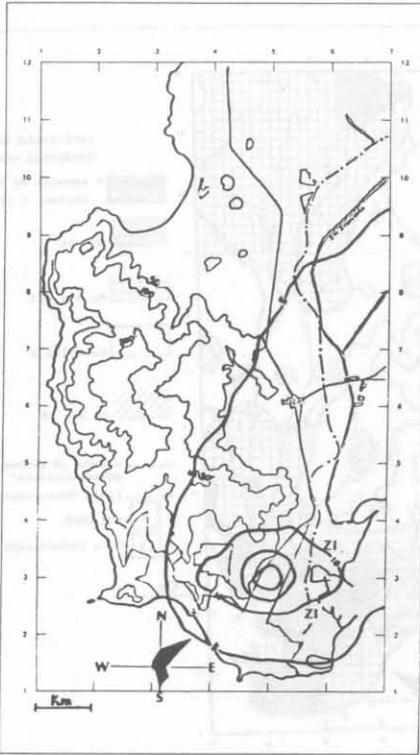


Fig. 12 - Promontorio di Piombino, modello diffuso CDM, le concentrazioni di SO_2 sono riferite al suolo ed espresse in ppb. Comune di Piombino, 1983

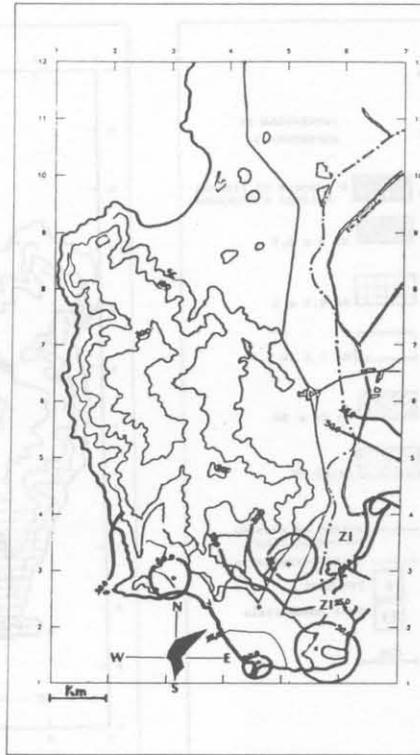


Fig. 13 - Promontorio di Piombino, media delle mediane della concentrazione di biossido di zolfo, valori medi relativi agli anni 1983 - 87.

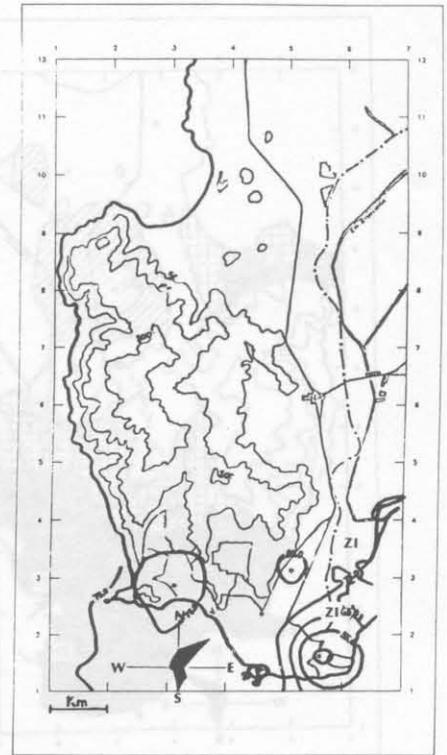


Fig. 14 - Promontorio di Piombino, 98° percentile delle concentrazioni di biossido di zolfo, valori medi relativi agli anni 1983 - '87.

$\mu g/m^3$) (Fig. 13). Nelle figure 9 e 10 sono rappresentate le isolicheniche del promontorio. In prossimità della zona industriale è da notare l'assenza di licheni

(deserto lichenico) in corrispondenza della concentrazione massima di SO_2 prevista e misurata. Allontanandosi dalla zona industriale verso la periferia ovest si

assiste ad un leggero incremento della copertura lichenica. Nella stessa direzione si può evidenziare un decremento delle mediane di SO_2 , mentre i valori del 98° percentile (Fig. 14) rimangono praticamente invariati (cioè significa che i valori di punta sono simili).

Da tali informazioni si potrebbe supporre che i licheni siano più sensibili al danno cronico che a quello acuto da biossido di zolfo. Partendo dalla città di Piombino in direzione nord è visibile in figura 9 un ripido gradiente positivo di copertura lichenica (soprattutto per *Xanthoria parietina*, ma anche per *Physcia adscendens* seppur di minore entità) a conferma del modello diffusivo della SO_2 (Fig. 12).

Probabilmente un ruolo importante nella protezione delle zone a nord di Piombino dalle emissioni industriali, viene esercitato dai rilievi del promontorio. Questo sia in presenza di venti meridionali che in condizioni di inversione termica.

Dalla figura 4 alla figura 8 sono rappresentate le mappe di distri-

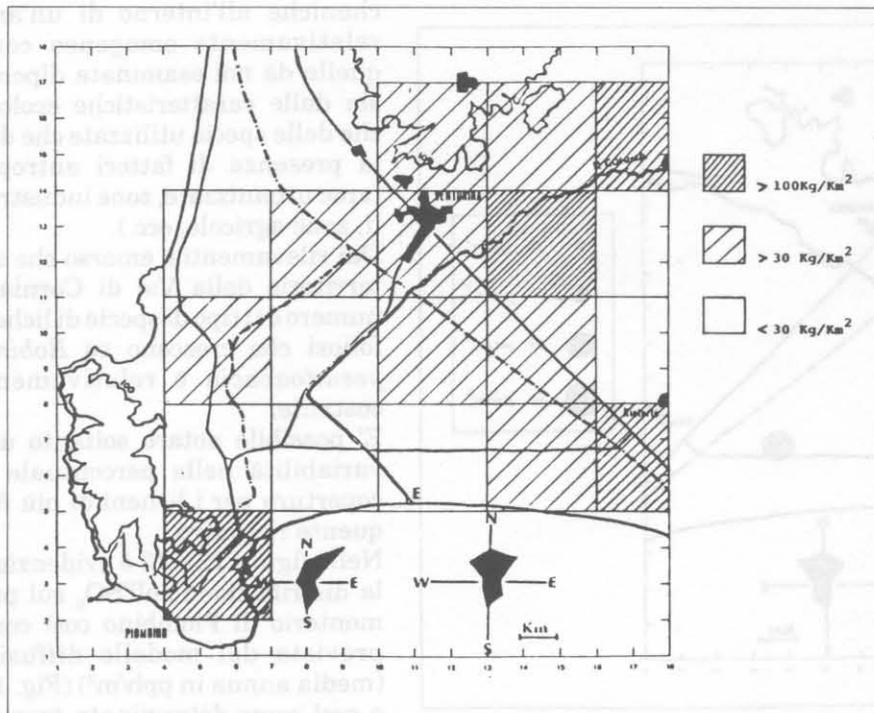


Fig. 15 - Acquisiti di sostanze fungicide per uso agricolo in Val di Cornia, anno 1987

Tab. 1 - Suddivisione in classi delle percentuali medie di copertura relative alle specie licheniche *Xanthoria parietina* e *Physcia adscendens*.

<i>Xanthoria parietina</i> :	Classe	Intervallo di copertura media %
	A	0, assenza di licheni foliosi e fruticosi
	B	da 0 a 0,5
	C	da 0,5 a 3
	D	da 3 a 10
	E	da 10 a 20
	F	oltre 20
<i>Physcia adscendens</i> :	Classe	Intervallo di copertura media %
	A	0, assenza di licheni foliosi e fruticosi
	Al	Tracce
	B	da 0 a 0,5
	C	da 0,5 a 3
	D	oltre 3

buzione della copertura lichenica della Val di Cornia; le figure 3 e 11 riportano, rispettivamente, il modello fisico-matematico di distribuzione della SO₂ espressa come media annua (ppb/m³) ed il valor medio delle mediane della SO₂ misurata negli anni 1983-1987.

Dal momento che tutta la Val di Cornia è estesamente coltivata, all'inquinamento derivante dalle sorgenti industriali e civili si sommano i possibili effetti delle sostanze chimiche impiegate in agricoltura.

In figura 15 è riportata una mappa degli acquisti di sostanze definite "fungicidi" (indipendentemente dal principio attivo) nell'area di studio.

I dati si riferiscono al domicilio degli acquirenti 1987 dei consorzi agrari di zona.

Si suppone che il consumo delle sostanze non avvenga a grande distanza. Data la natura dei licheni, su di essi è possibile un effetto deleterio sia da parte dei fungicidi che di altre sostanze agricole (diserbanti).

Dal confronto tra le cartografie di figure 3 e 7 si evidenzia una ulteriore zona di ricaduta della SO₂ a N/E della centrale termoelettrica in cui è possibile rilevare una corrispondente diminuzione della copertura di *Xanthoria parietina*. Viceversa alcune stazioni prossime alla costa (nel golfo di Follonica) risultano particolarmente ricche sia di *Xanthoria parietina* che *Physcia adscendens*, nonostante la prossimità della centrale termoelettrica ENEL.

In questa situazione, su robinia, le specie foliose sono le stesse presenti nel resto della pianura, anche se molto abbondanti, mentre su frassino, olmo e quercia sono frequenti specie particolarmente esigenti in termini di qualità dell'aria (ad es. *Ramalina fraxinea* e *Ramalina canariensis*, *Parmelia sulcata* e *Parmelia caperata*, ecc.). L'ambiente sopra considerato è prossimo al retroduna ed è costituito da un bosco umido residuo del climax a foresta mediterranea ("la sterpaia") degradato da una lottizzazione spinta.

Xanthoria parietina cresce anche sulla corteccia di *Pinus*, notoriamente acida, indicando una possibile neutralizzazione dell'acidità da parte dell'aerosol marino.

Questo fatto, congiunto all'umidità relativa localmente elevata, all'altezza dei camini della CTE ed al fatto che i venti spirano in direzione tale da non portare direttamente sulla zona le emissioni della centrale ENEL, potrebbe spiegare la locale abbondanza di licheni.

In prossimità del centro abitato di Venturina è rilevabile una rarefazione di *Xanthoria parietina* non correlabile con effetti di ricaduta della SO₂ proveniente dagli insediamenti industriali. La causa va probabilmente ricercata nelle emissioni domestiche e veicolari. La distribuzione di *Physcia adscendens* nella pianura è molto meno correlabile con la distribuzione di SO₂, e neanche con la distribuzione sul territorio dei trattamenti agricoli fungicidi. La deplezione della specie interes-

sa quasi tutta la pianura, ad esclusione della zona litoranea a sud delle zone collinari.

I minimi di copertura si hanno a Piombino (già osservato) e a SW di Venturina.

Questo minimo potrebbe avere origini di tipo urbano e veicolare (notare la vicinanza delle grandi vie di comunicazione), ma l'area in classe B di copertura è così vasta da far pensare che la distribuzione sia determinata principalmente dalle caratteristiche climatiche.

Per *Physcia biziana*, di cui non abbiamo dati quantitativi, si può notare una distribuzione piuttosto uniforme sul territorio (Fig. 6). La specie è particolarmente resistente, riuscendo a crescere anche su alberi urbani in Piombino e lungo le grandi strade. Pertanto tale specie non può rappresentare un indicatore utile per gli scopi prefissati.

Conclusioni

Nell'intera area della Val di Cornia, compreso il promontorio di Piombino, è stata individuata una correlazione negativa tra la mappa di copertura percentuale delle cortecce di *Robinia pseudoacacia* da parte di *Xanthoria parietina* e la distribuzione di SO₂ (sia misurata che indicata da un modello diffusivo).

La correlazione per *Physcia adscendens* invece, pur se ancora apprezzabile, non è tuttavia così evidente.

Per l'abitato di Venturina si assi-

ste alla riduzione della copertura lichenica delle due specie, non attribuibile a fonti industriali. Realtà come la Val di Cornia, in cui già da anni operano sistemi tradizionali di controllo dell'inquinamento atmosferico, possono giocare un ruolo non trascurabile nella fase di calibrazione di metodologie di biomonitoraggio della qualità dell'aria.

A tal fine è auspicabile che, da parte delle strutture universitarie e di ricerca, si giunga alla standardizzazione di tali metodologie, utilizzabili dalle strutture periferiche di controllo nell'ambito delle diverse realtà territoriali.

Ricevuto il 24 Maggio 90

Bibliografia

Anderson, F.K. and M. Treshow. 1984. Responses of Lichens to Atmospheric Pollution. In: M. Treshow (Ed.). Air Pollution and Plant Life. John Wiley & Sons: 259-289.

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

Bendetta, G. 1977. Inquinamento atmosferico e vegetazione. In: Laboratorio biologico di Laives, studi e ricerche. A cura dell'assessorato per la tutela dell'ambiente - Provincia Autonoma di Bolzano-Alto Adige: 9-44.

Caniglia, G., P. Giulini e M. Spampani. 1978. Inquinamento atmosferico e licheni - Saggio di distribuzione nella valle del Boite e a Cortina d'Ampezzo. Atti del convegno su "Ecologia delle Prealpi Orientali". Pian Cansiglio 6, 7, 8 maggio 1978) 279-293.

Comune di Piombino, Amministrazione Provinciale di Livorno, ENEL. 1979. Profilo meteorologico dell'area di Piombino. A cura dell'Osservatorio meteorologico di Brera (MI). Allegato n. 8.

Comune di Piombino. 1983. Studio previsionale dell'incremento della concentrazione al suolo di anidride solforosa in conseguenza dell'aumento delle emissioni della Centrale termoelettrica di Tor del Sale (Piombino). A cura dell'Osservatorio meteorologico di Brera (MI) - Istituto di Meteorologia Applicata.

Deruelle, S. 1978. Les Lichens et la Pollution Atmosphérique. Bull Ecol., 9,2:87-128.

Gilbert, O.L. 1968. Bryophytes as Indicators of Air Pollution in the Tyne Valley. New Phytol., 67: 15-30.

Gilbert, O.L. 1970. A Biological Scale for the Estimation of Sulphur Dioxide Pollution. New Phytol., 69: 629-634.

Hawksworth, D.L. 1973. Mapping Studies. In: B.W. Ferry (Ed.). Air Pollution and Lichens. Univ. Toronto Press: 38-123.

Hawksworth D.L. and F. Rose. 1970. Qualitative Scale for Estimating Sulphur Dioxide Air Pollution in England and Wales using Epiphytic Lichens. Nature, vol. 227, 11: 145-148.

Le Blanc, F. and J. De Sloover. 1970. Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. Can. J. Bot., 48: 1485-1496.

Le Blanc, F. and D.N. Rao. 1973a. Evaluation of the Pollution and Drought Hypothe-

ses in Relation to Lichens and Bryophytes in Urban Environments. The Bryologist, 76, 1:1 - 19.

Le Blanc, F. and D.N. Rao. 1973b. Effects of Sulphur Dioxide on Lichen and Moss Transplants. Ecology, 54, 3: 612 - 617.

Liebendörfer, L., R. Herzig, M. Urech and K. Amman. 1988. Evaluation und Kalibrierung der Schweizer Flechten-Indikationsmethode mit wichtigen Luftschadstoffen. Staub-Reinhaltung der Luft, 48: 233-238.

Nash T.H. 1973. Sensitivity of Lichens to Sulfur Dioxide. The Bryologist, 76,3: 333 - 339.

Nimis, P.L. 1985. Urban Lichen Studies in Italy - Ist: The Town of Trieste. Studia Geobotanica, 5: 49-74.

Nimis, P.L. 1987. I macrolicheni d'Italia chiavi analitiche per la determinazione. Gortania - Atti Museo Friul. Storia Nat. 8 ('86): 101-220.

Nimis, P.L. and L. Schiavon. 1986. The epiphytic lichen vegetation of the tyrrhenian coasts in central Italy. Ann. Bot., vol. XIV, 44: 39-67

Saggini, F. 1967. Geologia della Val di Cornia. Provincia di Livorno

Skye, E. 1968. Lichens and Air Pollution. Acta Phytogeographica Suecia, 52: 1-123.

Spampani, M. 1982. I licheni: indicatori fisiologici della qualità dell'aria. Le scienze, 167: 60-69.

WWF Italia - Università di Trieste. 1989. Progetto licheni 1989, chiavi analitiche semplificate per l'identificazione delle 67 specie più comuni di licheni epifiti in ambienti urbanizzati d'Italia.