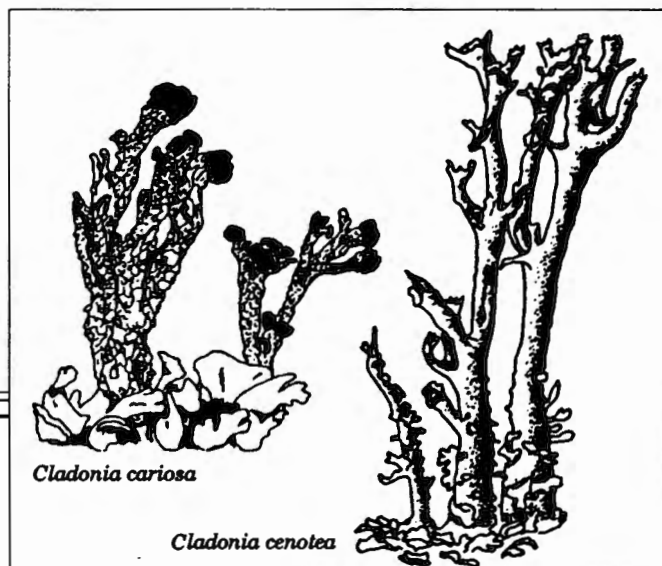

BIOINDICATORI



L'USO DEI LICHENI NEL BIOMONITORAGGIO DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

Pier Luigi Nimis e Miris Castello^(*)

BIOMONITORAGGIO AMBIENTALE

L'inquinamento, ed in particolare quello atmosferico, è un fenomeno estremamente variabile nello spazio e nel tempo in dipendenza di numerosi fattori quali direzione dei venti, orografia, tipo di fonte inquinante. La corretta mappatura dell'inquinamento di una data area implica uno studio condotto su base statistica basato su una rete di punti di misura a densità elevata e sull'analisi di dati riferiti a prolungati periodi di tempo.

Attualmente in Italia sono presenti 416 punti di misura per l'anidride solforosa, 201 per le particelle sospese, 63 per gli ossidi di azoto, 17 per gli idrocarburi, 16 per il monossido di carbonio, 16 per l'ozono, 16 per il piom-

bo e 16 per il fluoro (MANGHI, 1990). L'utilizzo delle centraline di rilevamento, indispensabile nel caso di aree soggette costantemente ad alti tassi di inquinamento atmosferico, quali i centri urbani principali, non può risolvere completamente il problema del monitoraggio dell'inquinamento per diversi motivi:

- 1- limitazione delle misure effettuate con centraline nello spazio e nel tempo per ovvie ragioni economiche;
- 2- difficoltà nell'utilizzo e nella sintesi dei dati raccolti;
- 3- impossibilità di stimare gli effetti sinergici delle sostanze considerate.

Il monitoraggio dell'inquinamento mediante l'uso di organismi viventi prende il nome di Biomonitoraggio. Esso si basa sulle

^(*) Dipartimento di Biologia, Università di Trieste

variazioni ecologiche indotte dall'inquinamento sull'ambiente; tali variazioni si manifestano in modo più o meno evidente essenzialmente a tre livelli diversi:

- 1- accumulo delle sostanze inquinanti negli organismi;
- 2- modificazioni morfologiche o strutturali;
- 3- modificazioni nella composizione delle comunità animali e vegetali.

Utilizzando organismi viventi per l'analisi dello stato dell'ambiente si possono misurare effetti sinergici su un organismo, che è in sé un integratore di dati.

Nella maggior parte dei casi le modificazioni non dipendono tanto, salvo situazioni eccezionali di natura catastrofica, da fenomeni acuti di inquinamento, quanto dall'inquinamento medio entro periodi più o meno lunghi, a seconda del tipo di organismi. Considerando che una stima corretta dell'inquinamento atmosferico deve essere basata su valori riferiti ad un arco di tempo sufficientemente ampio, la valutazione del grado di inquinamento tramite bioindicatori riflette la situazione generale in modo più fedele di quella derivante da poche misure dirette di tipo puntiforme nel tempo e nello spazio. In altre parole, gli organismi vengono utilizzati quali "centraline permanenti" naturali.

Un buon bioindicatore deve possedere le seguenti caratteristiche:

- 1- accertata sensibilità agli agenti inquinanti considerati;
- 2- ampia distribuzione in tutto il territorio in esame;
- 3- scarsa mobilità;
- 4- ciclo vitale lungo;
- 5- eventuale capacità di accumulo di sostanze inquinanti.

La letteratura sul biomonitoraggio ambientale si è ampliata in misura ragguardevole, soprattutto negli ultimi anni; gli studi più recenti tendono alla quantificazione della correlazione tra parametri biotici e tasso reale di

inquinamento. La predittività di alcune metodiche (vedi oltre) si è rivelata molto alta, ed è oggi possibile stimare il tasso medio di inquinamento atmosferico sulla base di modelli calibrati con tassi diretti.

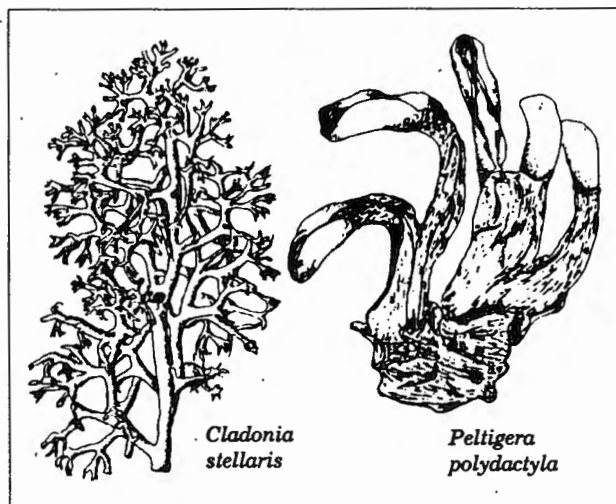
BIOMONITORAGGIO AMBIENTALE TRAMITE LICHENI

I primi studi sulla sensibilità dei licheni all'inquinamento atmosferico risalgono alla metà del secolo scorso, con i lavori di GRINDON (1859) nel Lancashire meridionale e di NYLANDER (1866) a Parigi: tali Autori osservano una diminuzione della frequenza dei licheni culminante con la completa scomparsa dei talli nell'ambito di grandi aree urbane o di regioni fortemente industrializzate.

Le ricerche in questo campo non hanno avuto un grosso sviluppo fino a quando non sono stati disponibili dati diretti sull'inquinamento atmosferico: ciò ha reso possibile una quantificazione delle relazioni tra inquinamento e vegetazione lichenica.

Esperimenti di laboratorio e ricerche sulla fisiologia dei licheni stanno facendo luce sui meccanismi coinvolti nella sensibilità di questi organismi ai diversi agenti inquinanti.

La relazione tra licheni ed inquinamento atmosferico non è però un dato accettato da tutti gli Autori che si sono occupati del problema. Un gruppo di Autori sostiene che la scomparsa dei licheni in aree urbanizzate è dovuta all'inquinamento atmosferico; tra questi NYLANDER (1866), SKYE (1964, 1965), LE BLANC (1961), GILBERT (1965), PEARSON & SKYE (1965), RAO & LE BLANC (1966), LAUNDON (1967), COPPINS (1973). Secondo la cosiddetta "drought hypothesis" di RIDZAK (1954, 1969) il fattore limitante la presenza di licheni in aree urbanizzate sarebbe invece identificabile con l'aridità che caratterizza il microclima urbano. Un terzo gruppo di Autori sostiene che le due posizioni non sono antitetiche, ma che a seconda delle situazioni climatiche della zona prevale il fattore inquinamento oppure il fattore aridità.



(BARKMAN, 1958; BRODO, 1966; NIMIS, 1985). Forse non è un caso che molti degli Autori che non condividono le tesi di Ridzak abbiano lavorato nell'Europa occidentale, caratterizzata da un clima oceanico, mentre Ridzak ha svolto i suoi studi in regioni a clima continentale (Polonia), dove l'umidità dell'aria risulta effettivamente un fattore limitante di rilievo per i licheni.

Le principali caratteristiche che fanno dei licheni dei buoni indicatori biologici sono riassumibili in 5 punti:

1) Assenza di strutture di protezione e selezione rispetto alle sostanze presenti nell'ambiente esterno

Vista la mancanza di un apparato radicale, il metabolismo dei licheni dipende quasi esclusivamente dalle deposizioni secche ed umide dall'atmosfera, mentre i meccanismi di selezione delle sostanze presenti all'esterno sono scarsi. La mancanza di una cuticola superficiale favorisce l'assorbimento degli elementi nutritivi e dei contaminanti atmosferici sia sotto forma gassosa, sia in soluzione, o associati al particellato (TUOMINEN & JAAKKOLA, 1973; NIEBOER ET AL., 1978; BROWN & BECKETT, 1985). A differenza di quanto avviene nelle piante superiori, i processi di assorbimento hanno luogo su tutta la superficie del tallo, nell'arco di molti

anni. Queste caratteristiche spiegano perché i licheni siano tra i primi organismi a risentire della presenza di sostanze fitotossiche e riescano ad accumulare a livelli facilmente apprezzabili quei contaminanti atmosferici persistenti (metalli, radionuclidi, idrocarburi fluorurati, fluoruri, etc.) difficilmente misurabili in campioni di aria. Talvolta i licheni possono contenere concentrazioni elevate di contaminanti senza mostrare danni fisiologici o morfologici; ciò è dovuto al fatto che molti contaminanti non sono tossici per il lichene, oppure si trovano in forma particellata ed insolubile negli spazi intercellulari della medulla (RICHARDSON, 1988).

2) Resistenza agli stress ambientali

Stress idrico: i licheni sono fotosinteticamente attivi in condizioni di idratazione, dipendente in massima parte dal tasso di umidità atmosferica; in situazioni di stress idrico rallentano le proprie attività metaboliche per cui aumenta la loro resistenza ai contaminanti atmosferici. Tuttavia l'aridità protratta nel tempo provoca un deterioramento delle cellule gonidiali (DERUELLE & LALLEMANT, 1983).

Con l'aumento dell'umidità molte sostanze presenti nell'atmosfera determinano un progressivo danneggiamento delle cellule algali con conseguente depressione dell'attività fotosintetica; ciò probabilmente spiega il fatto che la maggior parte delle specie più sensibili all'inquinamento atmosferico è legata a condizioni di oceanicità climatica.

Stress termico: la resistenza a basse temperature permette una attività continua, anche nel periodo invernale, quando i livelli di inquinamento atmosferico sono generalmente più elevati (FARRAR, 1974).

Esposizione a sostanze inquinanti: è stato dimostrato da SCHONBECK & GUDERIAN (1976) che i licheni, ed in particolare quelli epifiti, si rivelano degli indicatori biologici migliori delle piante superiori, in quanto sono in grado di sopportare alte concentrazioni di inquinanti per brevi periodi, mentre risentono di una

lunga esposizione a basse concentrazioni.

Una azione depressiva sull'attività fotosintetica è stata dimostrata, sulla base di esperimenti di fumigazione ed esposizione controllata, per le seguenti sostanze: anidride solforosa (PEARSON & SKYE, 1965; RAO & LE BLANC, 1966; SHOWMAN, 1972; LE BLANC & RAO, 1975), idrocarburi (LALLEMANT & VAN HALUWYN, 1981), ozono (NASH & SIGAL, 1979, 1980), nitrato di peracetile (SIGAL & TAYLOR, 1979), piombo (LAWREY & HALE, 1979; DERUELLE & PETIT, 1983), zinco e cadmio (NASH, 1972, 1975), fluoruri (GILBERT, 1971; NASH, 1971; TAKALA ET AL., 1978; PERKINS ET AL., 1980).

Non va trascurato, infine, che le precipitazioni acide sono tra le maggiori responsabili della progressiva scomparsa di *Lobaria pulmonaria* dalle Isole Britanniche e dalla Scandinavia (GILBERT, 1986; HALLINGBACH, 1986) e che in natura la rarefazione dei consorzi lichenici non è quasi mai da attribuire ad un singolo contaminante, ma alle interazioni ed ai sinergismi tra più sostanze presenti nell'atmosfera.

3) Impossibilità di liberarsi periodicamente delle parti vecchie o intossicate

Nei licheni non avviene il fenomeno dell'abscissione come nel caso delle piante superiori. Per questo motivo i talli lichenici non hanno la possibilità di liberarsi delle sostanze contaminanti in essi accumulate tramite meccanismi di escrezione attiva.

4) Lento accrescimento e grande longevità del lichene

La lentezza del metabolismo sembra la causa della maggior resistenza dei licheni crostosi rispetto a quelli fogliosi nei centri cittadini, mentre la longevità permette di ottenere dai licheni una stima dell'inquinamento su tempi lunghi (JAMES, 1973).

5) Tolleranze diverse agli inquinanti

Le varie specie presentano diversi gradi di tolleranza rispetto alle sostanze inquinanti: in particolare sono state elaborate "scale di tol-

leranza" delle specie licheniche nei confronti della concentrazione media di anidride solforosa che permettono di stimare il grado di inquinamento a partire dalla flora lichenica del posto. Questo approccio ha portato alla mappatura dell'intera Inghilterra (HAWKSWORTH & ROSE, 1970).

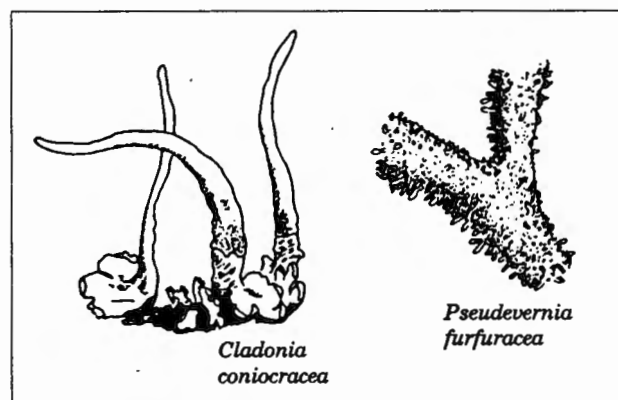
TECNICHE DI MONITORAGGIO

I licheni possono essere impiegati per valutare la qualità dell'aria secondo varie metodiche di monitoraggio. La scelta delle tecniche da utilizzare deve tener conto di vari fattori: tipo di inquinamento e fonte inquinante, caratteristiche dell'area di studio, tempo e apparecchiature a disposizione, conoscenze lichenologiche degli operatori.

Queste metodiche si basano generalmente sull'utilizzo dei licheni epifiti in modo da garantire condizioni ambientali il più possibile omogenee e comparabili. Infatti la composizione chimica e di conseguenza la capacità tampone del suolo e della roccia sono molto più variabili rispetto alla scorza degli alberi (SKJE, 1968; HAWKSWORTH, 1974).

Si possono distinguere due principali strategie di utilizzo dei licheni:

1- come bioindicatori, quando si studia la correlazione tra parametri floristici, vegetazionali o morfo-fisiologici e concentrazioni di sostanze inquinanti nell'atmosfera (metodo indiretto o approccio floristico-vegetazionale);



2- come bioaccumulatori, quando si analizzano le concentrazioni di determinate sostanze nei talli lichenici, correlandole ai tassi medi di deposizione (metodo diretto).

Le due strategie possono venir considerate complementari, in quanto permettono di ottenere informazioni su diversi tipi di inquinanti.

METODO INDIRECTO: BIOINDICATORI

Viene definito "bioindicatore" un organismo che risponde con variazioni identificabili del suo stato a determinate concentrazioni di inquinanti. I licheni presentano tutte le caratteristiche di un buon bioindicatore e numerosi studi hanno permesso di identificarne i tipi di risposta più evidenti nei confronti dell'inquinamento:

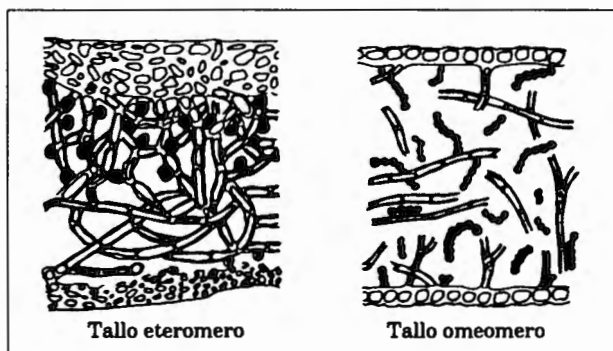
a- Riduzione dell'attività di fotosintesi e respirazione

Studi ecologici condotti in campo e ricerche di laboratorio hanno dimostrato che l'anidride solforosa è il principale inquinante che interessa i licheni su larga scala. I processi più colpiti sono la fotosintesi, la respirazione ed il flusso dei nutrimenti sotto forma di carboidrati tra l'alga ed il fungo (RICHARDSON & PUCKETT, 1973; FARRAR, 1973).

La diversa sensibilità delle specie licheniche alla SO_2 è imputabile a diversi fattori: superficie disponibile per gli scambi gassosi e dunque per l'assorbimento dell'anidride solforosa; velocità di idratazione e idrorepellenza del tallo; attività metaboliche; pH e capacità tamponante del substrato sul quale la specie normalmente si sviluppa.

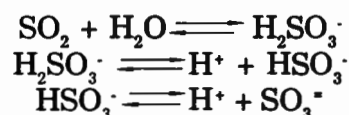
Gli effetti dell'anidride solforosa sono di due tipi:

1- danni indiretti: a causa dell'azione acidificante sulle piogge e nebbie, la SO_2 determina la riduzione della capacità tamponante del substrato, la diminuzione del pH del substrato e l'alterazione degli equilibri



delle forme ioniche generate dalla SO_2 in soluzione acquosa (vedi punto successivo);

2- danni diretti: l'anidride solforosa può causare una riduzione dell'attività fotosintetica danneggiando la clorofilla dello strato algale. La soluzione acquosa di SO_2 dà origine al seguente equilibrio, pH-dipendente:



Il pH della soluzione determina le proporzioni delle differenti forme ioniche all'equilibrio, ciascuna con diversa capacità ossidante e diversa carica: l'acido solforoso è un buon ossidante mentre il solfito è un agente riducente. Inoltre l'acido solforoso entra più velocemente del solfito e bisolfito all'interno delle cellule, poichè elettricamente neutro.

Valori di pH bassi spostano l'equilibrio a favore dell'acido solforoso, determinando inizialmente una riduzione dell'attività fotosintetica a causa dell'ossidazione della clorofilla a clorofilla⁺ e successivamente la comparsa di macchie marroni e necrosi a causa della trasformazione della clorofilla in feofitina.

Per quanto riguarda gli effetti dei metalli pesanti DERUELLE & PETIT (1983), confermando i lavori di PUNZ (1979), RICHARDSON ET AL. (1979) e PUCKETT (1976), segnalano che nei licheni sottoposti a forte inquinamento la fotosintesi diminuisce notevolmente. In particolare in *Parmelia caperata*, il tallo raccolto a 15 m dalla strada, contenente 570 ppm di piombo, ha

mostrato una riduzione della fotosintesi del 54% quando confrontato con un tallo raccolto a 600 m dalla stessa strada, contenente 60 ppm di Pb. NIEBOER ET AL. (1979) hanno segnalato un'alterazione nella permeabilità della membrana in licheni contaminati da piombo, sottolineando l'effetto sinergico di tale metallo con lo Zn, l'ozono, l'anidride solforosa.

MANNING ET AL. (1980) sostengono che le particelle dei metalli pesanti sono immobilizzate nel partner fungino e non contaminano il simbiote algale se non quando la concentrazione degli elementi diventa molto alta; perciò la diminuzione dell'attività fotosintetica avviene a livelli di contaminazione da metalli pesanti molto elevati.

Il fatto che l'inquinamento da traffico veicolare determini una diminuzione dell'attività fotosintetica fa pensare a qualche azione diretta sulle alghe (con conseguente alterazione della clorofilla), ad una modificazione negli scambi fra simbionti, ad una modificazione della membrana o, ancora, ad una inibizione enzimatica, come segnalato da PUCKETT (1976), KAUPPI (1980), NIEBOER ET AL. (1979).

b- Riduzione della vitalità e alterazione della forma e del colore del tallo

Avvicinandosi alle sorgenti inquinanti si assiste ad un progressivo peggioramento delle condizioni di salute del lichene, che si traduce

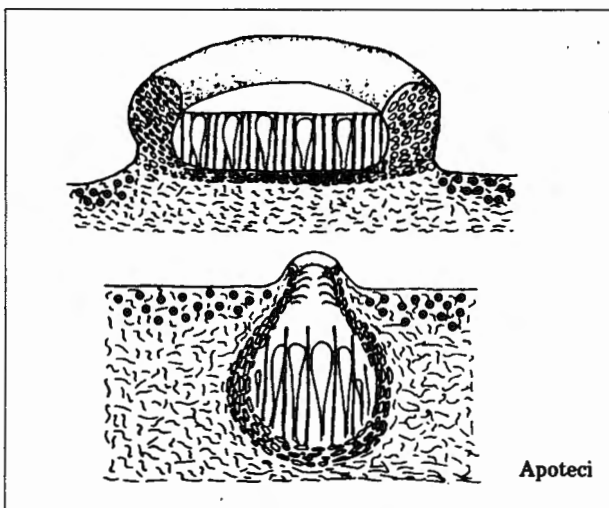
nello scolorimento del tallo, comparsa di macchie marroni e zone necrotiche e nel distacco di parti di tallo dal substrato.

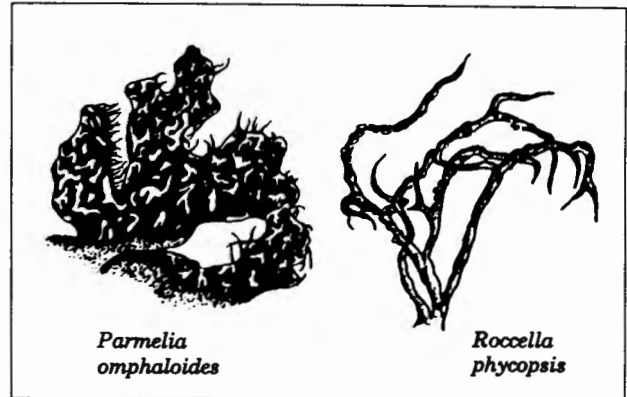
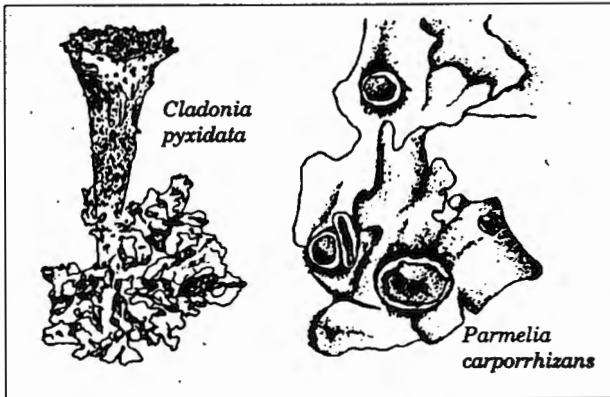
c- Riduzione della fertilità

Ricerche condotte da DU RIETZ (1924), da HAUGSJA (1930) ad Oslo su *Evernia prunastri*, da HAWKSWORTH & CHAPMAN (1971) in Gran Bretagna su *Pseudevernia furfuracea*, da LAUNDON (1967) e da SKYE (1968) rispettivamente a Londra ed a Stoccolma su *Xanthoria parietina* hanno dimostrato che la fertilità dei licheni diminuisce in funzione del tempo di esposizione e dell'avvicinamento alla fonte inquinante. Tale diminuzione si esplica nella riduzione della larghezza degli apoteci e nella loro rarefazione. ALMBORN (1952) precisa che i licheni che si sviluppano naturalmente per mezzo di isidi e soredi (moltiplicazione vegetativa) sono favoriti nelle stazioni inquinate. E' doveroso aggiungere che secondo altri Autori -LE BLANC & RAO (1973), MARGOT & DE SLOOVER (1973)- la formazione di soredi ed isidi è limitata anch'essa dall'inquinamento; effettivamente alla formazione di tali strutture riproduttive concorrono le cellule algali, che abbiamo visto essere molto sensibili agli agenti tossici.

d- Diminuzione della copertura delle specie originarie; alterazione della comunità lichenica

Partendo dal centro cittadino verso la periferia, la copertura di alcune specie crostose come *Lecanora conizaeoides* cresce fino ad un massimo per poi decrescere in corrispondenza all'aumento di copertura delle specie fogliose, più poleofobe (DERUELLE, 1978; DERUELLE & LALLEMANT, 1983). Questo comportamento può essere dovuto al fatto che le specie crostose offrono una minore superficie di scambio rispetto alle fruticose e fogliose. Si è notato inoltre che le specie più resistenti all'inquinamento hanno una spiccata idrorepellenza nei confronti delle gocce d'acqua che cadono sul tallo: la resistenza sarebbe dovuta alla minore efficienza con cui l'acqua e le sostanze in essa





disciolte vengono assorbite.

Vanno però segnalati anche casi di comparsa di piccoli talli di specie fruticose quali *Usnea sp.*, *Pseudevernia furfuracea* in zone industrializzate (NIMIS, 1986; NIMIS ET AL., 1990): probabilmente l'acidificazione secondaria della scorza degli alberi permette lo sviluppo di specie che si trovano normalmente sulle scorze acide delle Conifere nella fascia montana. La situazione di inquinamento non permette però una grossa crescita dei talli.

e- Riduzione del numero totale di specie nel tempo

Dallo studio della vegetazione lichenica del Suffolk di COPPINS & LAMBLEY (1974) risulta che nel 1972, delle 129 specie segnalate nel 1912, ne sono rimaste soltanto 67. LAUNDON (1973) riporta per un'altra zona dell'Inghilterra (Bookham), che dal 1953 al 1969 la flora lichenica aveva subito un decremento del 25%. Lavori simili sono stati condotti da altri Autori in varie città ed hanno confermato la rarefazione dei licheni nelle zone che hanno subito un incremento dell'inquinamento: FOCKEU (1901) e BOULY DE LESDAIN (1950) a Lilla (Francia sett.), NYLANDER (1866) e ABBAYES (1951) a Parigi, BOREL (1970) sempre in Francia, FOLLMANN (1973) in Germania, BARKMAN (1969) nei Paesi Bassi, SOCHTING & JOHNSEN (1974) in Danimarca, SKYE & HALLBERG (1969) in Svezia. In quest'ultimo caso è pure stato notato un recupero della vitalità dei licheni (a partire da quelli crostosi quali *Lecanora muralis*) quando, nel 1966, è stata

chiusa una fabbrica nell'area di studio. ROSE & HAWKSWORTH (1981) hanno segnalato la ricolonizzazione da parte di alcune specie della zona periferica di Londra in seguito alla diminuzione dei livelli medi annui di anidride solforosa.

f- Riduzione del numero totale di specie nello spazio

Il problema è stato affrontato da vari ricercatori in periodi e località differenti. Tra questi si possono citare i lavori di: GILBERT (1969), Newcastle; BRODO (1966), New York; JONES (1952), Birmingham; VINCENT (1968), Toulouse; LE BLANC ET AL. (1974), Murchodville, Canada; SKYE (1968), Kvarntorp, Svezia; FENTON (1960), Belfast; NIMIS (1985), Trieste; NIMIS (1986), Udine; NIMIS & TRETJACH (1987), Roma. Tutti hanno notato che, passando dal centro cittadino alla periferia, vi è un aumento del numero di specie di licheni, indipendentemente dal tipo di substrato considerato.

Esistono varie tecniche di utilizzo dei licheni come bioindicatori:

1- Valutazione indiretta tramite indici ecologici

Si utilizza soprattutto nel caso di tipi di inquinanti che modificano il pH del substrato (anidride solforosa, polveri calcaree, fertilizzanti inorganici). Si tratta di una tecnica che può integrare validamente gli studi di mappatura della flora e vegetazione lichenica, permettendo una caratterizzazione indiretta di

vari parametri ecologici (microclima, deposito di sostanze azotate, luminosità, etc.) che possono influenzare, congiuntamente all'inquinamento atmosferico, la distribuzione dei licheni in una data area. Il campionamento comprende la rilevazione della flora lichenica epifita nell'area di studio. L'analisi procede associando alle singole specie il relativo indice ecologico (da WIRTH, 1980) calcolando la distribuzione di frequenza nelle varie classi dell'indice per ciascuna stazione di rilevamento (definita dalla somma degli indici di tutte le specie). Si effettua il riporto cartografico dei risultati, connettendo con delle linee le stazioni che rientrano nella stessa classe di valori. Il metodo permette la valutazione dell'impatto ambientale delle sorgenti inquinanti, con la mappatura su vaste aree in tempi relativamente brevi. Ha lo svantaggio di richiedere competenze lichenologiche avanzate in quanto è indispensabile una corretta determinazione di tutte le specie. Per degli esempi in territorio italiano vedi RECCHIA (1987), NIMIS & DALLAI (1985).

2- Carte basate su parametri floristici e vegetazionali

Esiste un gran numero di approcci di comprovata efficacia basati su una mappatura preliminare della flora e vegetazione lichenica. Sono tra i più usati nel monitoraggio di aree urbane, od in generale di aree estese, soggette all'influsso di diversi inquinanti. Tra i più frequentemente adottati citiamo i seguenti:

a) carte di distribuzione di specie singole: si tratta dell'approccio più classico: la mappatura della distribuzione di singole specie è fondamentale per studi più dettagliati che prendono in considerazione altri parametri quali la frequenza relativa od il grado di copertura. L'interpretazione dei dati può avvenire o sulla base degli indici ecologici trattati nel punto precedente, o sulla base di scale di tolleranza all'inquinamento quali quelle sviluppate per l'Inghilterra da HAWKSWORTH & ROSE (1970).

b) Carte basate sul numero di specie: studi

effettuati da GILBERT (1965), GRIFFITH (1966), BARKMAN (1963), NIMIS (1985, 1986) hanno dimostrato che il numero di specie presenti in siti comparabili (per esempio alberi della stessa specie e con la stessa età in aree ecologicamente simili), riflette bene il grado dell'inquinamento atmosferico medio. Una discussione approfondita delle metodiche basate sul rilevamento floristico completo dell'area di studio è in WETMORE (1983).

c) Carte basate su parametri relativi ad una sola specie: in questi casi la specie deve essere facilmente riconoscibile ed a larga diffusione. Tra i parametri più frequentemente usati citiamo:

- variazioni nella copertura e/o nella frequenza relativa
- grado di danneggiamento del tallo
- tasso di fotosintesi ed altre caratteristiche dello strato algale (per esempio: fluorescenza della clorofilla).

d) Carte basate su specie indicatrici: si tratta di zonazioni ottenute sulla base della distribuzione di poche specie che indicano diversi tassi di inquinamento. Hanno il vantaggio di non richiedere approfondite conoscenze lichenologiche, lo svantaggio di non essere generalmente applicabili a tutto il territorio nazionale, in quanto il valore indicativo delle specie varia con le condizioni climatiche, per cui sono necessari modelli diversi per diverse parti del paese. Per un esempio in territorio italiano vedi NIMIS (1985).

3- Metodi di trapianto

Le tecniche di trapianto sono state standardizzate da BRODO (1961): pezzi di scorza che portano i talli lichenici vengono asportati da un albero sito in un'area non affetta da inquinamento e trapiantati con delle tecniche particolari su alberi siti in zone inquinate. I trapianti vengono successivamente fotografati a intervalli prefissati e le fotografie vengono analizzate tramite computer. Il tasso di mortalità e/o di danneggiamento dei talli è proporzionale a quello di inquinamento. Una recente esten-

sione del metodo è quella proposta da CHRIST & TURK (1981), che hanno utilizzato l'efficienza fotosintetica di campioni trapiantati come indicatori di inquinamento. Esistono numerosi studi effettuati con la tecnica dei trapianti: essi hanno il vantaggio di poter utilizzare i licheni anche nell'ambito del "deserto lichenico" spesso presente all'interno di grandi conurbazioni, lo svantaggio di essere piuttosto laboriosi, e quindi inadatti a surveys su vasta scala. Inoltre, nel caso dei trapianti, è spesso difficile discriminare tra gli effetti dovuti all'inquinamento e quelli dovuti al diverso microclima del sito di trapianto. Si tratta comunque di un possibile metodo per poter valutare la sensibilità di specie diverse all'inquinamento, e quindi può permettere, come studio preliminare, di costruire delle scale di sensibilità.

4- Gli indici I.A.P. ed il metodo di Ammann

L'Index of Atmospheric Purity (IAP), proposto da DE SLOOVER (1964), fornisce una valutazione quantitativa del tasso di inquinamento atmosferico basandosi su numero, frequenza e tolleranza delle specie licheniche presenti nelle varie stazioni di una data area.

La formula proposta da LE BLANC & DE SLOOVER (1970) è la seguente:

$$IAP = (n/100) \cdot \sum Qf$$

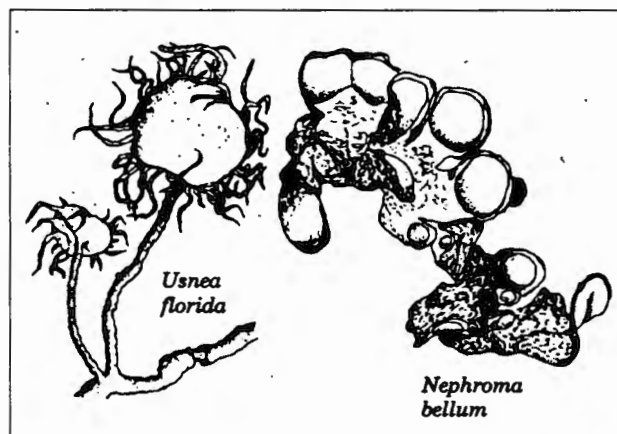
dove n = numero di specie presenti nel rilievo, Q = fattore di tossicotolleranza, f = frequenza della specie i-esima. Il fattore di tolleranza Q viene stimato, in genere piuttosto soggettivamente, sulla base di dati empirici sulla distribuzione delle varie specie in diverse aree il cui tasso di inquinamento è noto, e costituisce probabilmente l'aspetto più criticabile di questo indice e di altri indici analoghi proposti successivamente. E' da tener presente infatti che, oltre agli elementi di soggettività nella stima del fattore Q, questo è probabilmente valido soltanto entro aree con determinate

condizioni climatiche, e non può venir quindi estrapolato acriticamente ad aree con condizioni climatiche diverse (NIMIS, 1986).

Un test effettuato da DERUELLE (1978) ha dimostrato la validità di questo indice nel monitoraggio dell'anidride solforosa nella Francia occidentale. Successivamente sono state usate diverse varianti di questa formula che danno diversa importanza alle variabili considerate.

Recenti studi condotti da una équipe diretta da K. AMMANN (HERZIG ET AL., 1985, 1987; WANNER ET AL., 1986) hanno permesso di testare la validità di 20 indici I.A.P., calcolati sulla base di dati floristici e di dati sulle concentrazioni nell'atmosfera di zolfo, nitrati, cloro, piombo, rame, zinco, cadmio e polveri. L'analisi è stata effettuata sottoponendo i dati a disposizione a regressione multipla-lineare. Il metodo standardizzato proposto dagli Autori svizzeri è basato sulla frequenza delle specie, calcolata in un apposito reticolo di rilevamento e permette di predire i tassi di inquinamento da dette sostanze con una certezza superiore al 97%. Il metodo proposto risulta molto interessante per l'alta predittività, per la relativa facilità di esecuzione, per la bassa soggettività e alta riproducibilità della raccolta dei dati. Recenti applicazioni, ancora non pubblicate, hanno dimostrato che il metodo, inizialmente sviluppato per la città di Bienna, in Svizzera, è applicabile a tutto il territorio federale elvetico, e quindi presenta un largo potenziale applicativo anche al di fuori della Svizzera. Il vantaggio principale del metodo proposto dagli Autori svizzeri, comunque, risiede nel fatto che nel calcolo dell'I.A.P. non viene previsto alcun fattore di tolleranza attribuito alle singole specie, il che rende la metodica molto più oggettiva di quelle adottate da tutti gli Autori precedenti.

Tra le città in cui si è studiato l'inquinamento atmosferico mediante l'analisi della flora e della vegetazione lichenica, citiamo i casi di: ERICHSEN (1906), Amburgo; FENTON



(1964), Belfast; NATHO (1964), Berlino; STEINER & SCHULZE (1955), Bonn; KNEIPPER & SHERWOOD-PIKE (1985), Boston; PISUT & LISICKA (1985), Bratislava; ROGERS (1977), Brisbane; FARKAS ET AL. (1978), Budapest; JOHENSEN & SOECHTING (1973), Copenhagen; WIRTH & BRINCHMANN (1977), Friburgo; TURIAN & DESBAUMES (1975), Ginevra; TURIAN (1985), Ginevra; DEGELIUS (1961), Goteborg; KLEMENT (1958), Hannover; LAAKSOVIRTA & ALAKUJALA (1978), Helsinki; THROVER (1980), Hong Kong; FOLLMANN (1973), Kassel; TURK & SEEGER (1987), Klagenfurt; PEREZ DE LA TORRE (1985), La Plata; BORTENSCHLAGER & SCHMIDT (1963), Linz; GUTTE ET AL. (1976), Lipsia; SERGIO & BENTO-PEREIRA (1981), Lisbona; LAUNDON (1967), Londra; BATIC (1986), Lubiana; ALMBORN (1943), Lund; CRESPO ET AL. (1977), Madrid; SILVA-PANDO & ASCASO (1982), Madrid; ARNOLD (1901), Monaco di Baviera; ROTTA E SCHMIDT (1984), Monaco di Baviera; GRANGER (1970), Montreal; LE BLANC & DE SLOOVER (1970, 1972), Montreal; GILBERT (1969), Newcastle; BRODO (1961, 1966), New York; KROG (1970), Oslo; DERUELLE (1983), Parigi; DERUELLE & GARCIA-SCHAEFFER (1983), Parigi; LISKA (1985), Praga; OSORIO & FLEIG (1985), Rio Grande, Brasile; FRILEUX & LEROND (1978), Rouen; BESCHEL (1952), Salisburgo; TURK & WITTMANN (1987), Salisburgo; JOHNSON (1979), Seattle; LUNSTROEM (1976), Stoccolma; MARTIN & EENSAAR (1983), Tallinn; SUGIYAMA ET AL. (1976), Tokyo; VINCENT (1968), Tolosa; ZIMMY & KUCINSKA (1974), Varsavia; SPENLING (1971), Vienna; TURK &

CHRIST (1984), Vienna; HOPP & KAPPEN (1981), Wurzburg; BERBALIC (1979), Zagabria; VARESCHI (1936), Zurigo; ZUST (1977), Zurigo.

In alcuni casi gli studi interessano anche aree molto vaste, come l'intera Inghilterra: (HAWKSWORTH & ROSE, 1970); l'intera Olanda (DE WIT, 1976; VAN DOBBEN, 1986), la Danimarca (RASMUSSEN ET AL., 1980), la Svezia (LOFGREN & MOBERG, 1984), la zona della Ruhr (DOMROS, 1966; SCHOENBECK, 1972; RABE & WIEGEL, 1985), la Francia settentrionale (GEHU ET AL., 1973), la Slovenia (BATIC, 1984), la Bielorussia (KISILEV ET AL., 1986), l'Estonia (RAITVIIR & TRASS, 1975), la California meridionale (SIGAL & NASH, 1983), lo Stato dell'Alberta (CASE, 1984), i Parchi Nazionali degli Stati Uniti (WETMORE, 1983), il Canada orientale (ZAHKSHEK & PUCKETT, 1986) ed altri ancora.

Per quanto riguarda l'Italia sono stati effettuati studi nella zona della laguna di Venezia (CANIGLIA E DRUDI, 1984), in alcune valli alpine (CANIGLIA ET AL., 1978; PIERVITTORI & MONTACCHINI, 1980; SPAMPANI, 1982), presso un cementificio nelle Marche (RECCHIA, 1988), nelle città di Trieste (NIMIS, 1985), Udine (NIMIS, 1986) e Roma (NIMIS, 1990) e in aree con insediamenti industriali nell'Alto Vicentino (NIMIS ET AL., 1990).

2- METODO DIRETTO: BIOACCUMULATORI

Un organismo viene definito "bioaccumulatore" quando lo si può usare per misurare la concentrazione di un elemento, ottenendo risposte quantitative oltre che qualitative. Per utilizzare un lichene come bioaccumulatore, bisogna accertarsi che questo risponda ai seguenti requisiti:

a- Alta tolleranza alla sostanza in esame

Questo punto è essenziale se si vogliono evidenziare le punte massime di inquinamento: è chiaro che se un lichene muore (e quindi il suo tallo non è utilizzabile) proprio in

corrispondenza alle concentrazioni più alte di un inquinante, esso è del tutto inidoneo come bioaccumulatore.

b- Capacità di accumulare le sostanze esaminate in misura indefinita

Il bioaccumulatore è tanto migliore quanto più lineare è la correlazione fra presenza di contaminante nell'aria e concentrazione dello stesso nel tallo lichenico. Se, superata una certa soglia di concentrazione del contaminante nell'atmosfera, il lichene non è più in grado di assorbirlo, si perde l'informazione relativa ai massimi livelli di contaminazione, che sono i più interessanti.

c- Possibilità di definire l'età del tallo esaminato

Il lichene accumula le sostanze dipendentemente dalla concentrazione di queste nell'atmosfera e dal tempo di esposizione: a parità di concentrazione nell'atmosfera, risulta più alta la contaminazione nel lichene più vecchio, sottoposto per più tempo all'inquinamento. Nel lichene foglioso *Parmelia caperata* sono state misurate le concentrazioni dei metalli pesanti in porzioni centrali e periferiche del tallo (GASPARO, 1989). Considerando la faccia inferiore del lichene si è distinta la parte periferica, bruno-chiara, dalla parte centrale, più scura. Si è visto che per metalli pesanti a prevalente deposizione secca, la concentrazione al centro del tallo è sensibilmente maggiore. Potendo escludere fenomeni di eliminazione, si può assumere che quanto più è vecchio un lichene, tanto più è contaminato. Per questo

motivo è necessario analizzare porzioni del tallo aventi età corrispondenti.

d- Presenza di più esemplari nell'area di studio

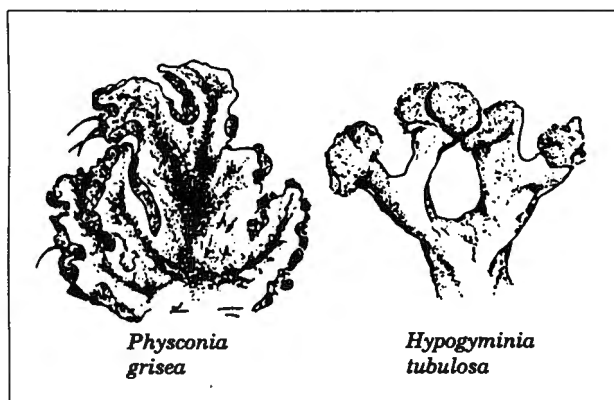
Per ridurre le fluttuazioni dovute a particolari condizioni in cui è stato raccolto il lichene (micronicchia sottoposta a forte dilavamento, esposizione diretta alla luce solare, substrato molto rugoso con intrattenimento dell'acqua) si preferisce, dove possibile, raccogliere e sottoporre ad analisi un numero consistente (mezza dozzina) di esemplari della stessa specie per ogni stazione. Esperimenti condotti nell'Università di Trieste con la collaborazione dell'Università di Siena (GASPARO, 1989) hanno dimostrato che da un miscuglio di campioni si ottiene una caratterizzazione precisa della stazione: l'analisi del materiale ottenuto da più talli lichenici fornisce un dato prossimo alla media delle concentrazioni ottenute considerando numerosi campioni analizzati singolarmente.

La tecnica di monitoraggio diretto è basata su:

Misure delle concentrazioni degli inquinanti nei talli lichenici

Sfruttando la capacità dei licheni di assorbire ed accumulare i contaminanti persistenti, generalmente presenti nell'atmosfera in bassissime concentrazioni, negli ultimi anni questi organismi sono stati largamente impiegati nel monitoraggio di metalli pesanti, radionuclidi, non-metalli come lo zolfo ed il fluoro, e di composti xenobiotici come per esempio gli idrocarburi clorurati (NIEBOER & RICHARDSON, 1981; PERKINS & MILLAR, 1987; MACKENZIE, 1986; THOMAS ET AL., 1984; VILLENEUVE & HOLM, 1984; BACCI ET AL., 1986).

La metodologia è stata impiegata soprattutto in prossimità di sorgenti puntiformi (complessi industriali e minerari) dove, in assenza di flora lichenica spontanea, possono essere trapiantati licheni raccolti in aree non contaminate (GAILEY ET AL., 1985). La metodica



*Physconia
grisea*

*Hypogymnia
tubulosa*

non presenta particolari difficoltà in quanto, per le determinazioni analitiche, si fa ricorso alle comuni procedure spettrofotometriche, gascromatografiche o ai rilevatori di radioattività. Inoltre presenta il vantaggio di non richiedere conoscenze lichenologiche approfondite, in quanto il lavoro viene solitamente eseguito su una sola specie. Il biomonitoraggio dei contaminanti atmosferici mediante licheni permette di stimare indirettamente il loro grado di deposizione e di diffusione, e quindi di risalire alle sorgenti dell'inquinamento. GARTY ET AL. (1985) applicando il metodo in zone urbane e rurali di Israele hanno stimato la capacità di dispersione di metalli associati al particellato e hanno individuato le fonti inquinanti. In Olanda BRUIN ET AL. (1986), applicando l'analisi fattoriale ai risultati ottenuti con l'analisi dei licheni, hanno potuto individuare le varie sorgenti di emissione in un'area con alta densità di complessi industriali, minerari ed agricoli.

Nel caso della deposizione radioattiva, da anni sono stati sviluppati modelli di trasferimento ambiente-lichene che permettono l'elaborazione dei dati con tecniche di analisi dei sistemi; dopo l'incidente di Chernobyl sono stati avviati numerosi studi sul "turnover" di molti elementi radioattivi nei licheni (MACKENZIE, 1986; SMITH & CLARK, 1986; per ulteriori riferimenti bibliografici vedi NIMIS ET AL. 1987).

Studi effettuati da GILBERT (1965) hanno dimostrato che il contenuto in zolfo dei talli lichenici è correlato significativamente con il tasso di contaminazione da anidride solforosa nell'aria. Il metodo non ha trovato larga applicazione a causa delle difficoltà tecniche di misurazione dello zolfo contenuto nei talli e per il fatto che, essendo questo elemento indispensabile al metabolismo dei licheni, è difficile distinguere lo zolfo in eccesso da quello fisiologicamente utile. BOWEN (1970) ha però sviluppato una tecnica che permette di rimpiazzare lo zolfo con iodio-131 e che, come dimostra lo studio svolto in Norvegia da NORDFOSK (1971), sembra offrire interessanti prospettive.

Come nel presente studio, i licheni sono stati impiegati soprattutto come "biomonitori" dei metalli (NIEBOER ET AL., 1972; ANDERSEN ET AL., 1978; PILEEGARD, 1979; FARKAS ET AL., 1985; OLMEZ ET AL., 1985; GARTY & HAGEMEYER, 1988) sia in aree urbane che in aree industriali.

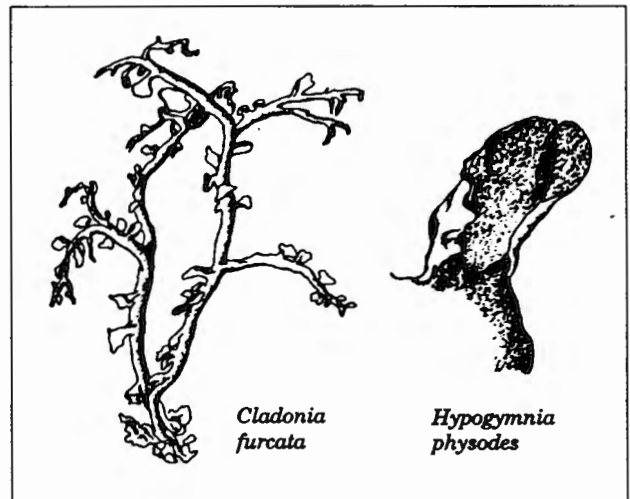
Alcune delle specie foliose epifite maggiormente diffuse alle nostre latitudini, quali *Xanthoria parietina*, *Parmelia sulcata* e *Parmelia caperata* si sono rivelate dei "biomonitori" molto affidabili delle emissioni di metalli da sorgenti sia puntiformi che diffuse. E' stata confrontata la capacità di accumulo di alcune specie (BARGAGLI ET AL., 1987a), è stata valutata l'incidenza dei materiali terrigeni e del possibile assorbimento dal substrato sulle concentrazioni dei metalli presenti nei talli (BARGAGLI, 1989), ed è stata proposta una standardizzazione delle procedure per la raccolta e la preparazione dei campioni, e per l'interpretazione dei risultati analitici (BARGAGLI, 1989).

Interessanti applicazioni del monitoraggio mediante licheni si stanno prospettando nelle ricerche geochimiche o di sorgenti geotermali, e nello studio dell'attività vulcanica e sismica (KOVALEVSKII, 1986; BARGHIGIANI ET AL., 1988, 1989; BARGAGLI E BARGHIGIANI, 1989), in tutti quegli studi, cioè, che interessano aree molto vaste e dove risulta particolarmente difficile rilevare con la comune strumentazione variazioni significative nelle emissioni di mercurio, radon o elio. Infatti i flussi di questi elementi variano moltissimo con le condizioni meteorologiche (KLUSMAN & JAACK, 1987) ed occorre un numero grandissimo di stazioni di rilevamento per poter acquisire informazioni significative. Nei licheni tali variazioni sono molto minori e KOVALEVSKII (1986) asserisce che con questi organismi è possibile ottenere indicazioni utili all'individuazione di depositi minerali, di gas e petrolio, anche se situati a profondità che possono raggiungere i 2000 m.

La letteratura negli ultimi anni si è arricchita di un notevole numero di studi sui

licheni come bioaccumulatori. Riportiamo alcuni fra i più significativi studi che hanno impiegato i licheni per la misura della contaminazione da metalli pesanti nei dintorni di zone ritenute "a rischio".

PAKARINEN (1981): *Cladonia arbuscula*, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Finlandia; PAKARINEN ET AL. (1978): *Cladonia arbuscula*, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Finlandia; LODENIUS (1981): *Hypogymnia physodes*, Hg, Finlandia; PILEGAARD ET AL. (1979): *Hypogymnia physodes*, *Lecanora conizaeoides*, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Danimarca; LAAKSOVIRTA & OLKKONEN (1979): *Hypogymnia physodes*, Hg, Finlandia; KAUPPI & MIKKONEN (1980): *Hypogymnia physodes*, Fe, Finlandia; PILEGAARD (1978): *Lecanora conizaeoides*, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Danimarca; GOYAL & SEAWARD (1981, 1982a,b): *Cladonia furcata*, *Peltigera membranacea*, *P. rufescens*, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Inghilterra; ADDISON & PUCKETT (1980): *Cladonia arbuscula*, *Evernia mesomorpha*, *Hypogymnia physodes*, Al, Canada; BURKITT ET AL. (1972): *Parmelia* spp., Cd, Pb, Zn; NIEBOER ET AL. (1972): 9 specie di licheni, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Canada; HOCKING & BLAUDEL (1977): licheni corticoli, Cu, Ni, USA; NASH (1975): 10 specie di licheni, Cd, Zn, USA; BECKETT ET AL. (1982): *Cladonia rangiferina*, *C. mitis*, Pb, Canada. Ancora: ANDERSEN ET AL. (1978): Copenhagen; DERUELLE (1983a,b,c): Francia; GARTY ET AL. (1979, 1985): *Caloplaca aurantia*, Israele; HUTTON & SIMON (1986): Cd, Pb, Hg; RAO & LE BLANC (1967): licheni epifiti, Canada; TUOMINEN & JAAKKOLA (1973); BURTON ET AL. (1981): *Cladonia rangiferina*, Cu, Ni, Canada; CLERC & ROH (1980): Svizzera; FOLKESON (1979); GARTY ET AL. (1977, 1979, 1982): *Ramalina duriaei*; Johnsen (1975): Pb, Cd; LAAKSOVIRTA ET AL. (1976): Pb, Finlandia; LAMBINON ET AL. (1964): Zn, Belgio; LAWREY & RUDOLPH (1975): USA; NIEBOER ET AL. (1977): Canada; PUCKETT (1976): Canada; PUCKETT ET AL. (1973); PUNZ (1977): Pb; PYATT (1976); RAO ET AL. (1977); RICHARDSON ET AL. (1979): *Umbilicaria muhlenbergii*; SAEKI ET AL. (1975, 1979): *Parmelia conspersa*, Pb, Cu, Sendai; SHUTTE (1976): *Parmelia* sp., USA; SEA-



WARD (1974), SEAWARD ET AL. (1978): Inghilterra; STEINNES & KROG (1977): Hg, Al; TAKALA & OLKKONEN (1976, 1981): *Pseudevernia furfuracea*, Pb, Finlandia.

In Italia sono stati condotti studi in prossimità di complessi industriali in Toscana (BARGAGLI ET AL., 1985, 1987), in aree vulcaniche (BARGHIGIANI ET AL., 1988) o con anomalie geochimiche (BARGAGLI ET AL., 1988) e geotermali (BARGHIGIANI ET AL., 1989).

VANTAGGI DELL'USO DEI LICHENI PER IL MONITORAGGIO AMBIENTALE

Molti operatori attivi nelle strutture adibite al controllo della qualità dell'aria hanno avuto modo di sottostare ad esperienze frustranti con l'utilizzazione di centraline per il rilevamento diretto dell'inquinamento atmosferico. Tali strumenti, oltre ad essere molto costosi e soggetti a frequenti guasti, e richiedere una costante manutenzione e l'impiego di molte ore-lavoro per ottenere risultati significativi, hanno il difetto fondamentale di effettuare, solitamente, misure puntiformi nel tempo e nello spazio, che mal si accordano con il fatto che l'inquinamento atmosferico è un fenomeno da valutare sulla base di valori medi su periodi di tempo piuttosto lunghi. Troppo spesso accade che le misure siano insufficienti a dare risultati statisticamente significativi, o

che, nei casi migliori, si abbiano tali quantità di dati da rendere in ogni caso difficile e laborioso un risultato sintetico. Il costo di queste apparecchiature è inoltre un fattore che ne limita fortemente il numero, per cui una corretta mappatura dell'inquinamento di un'area quale una zona urbana risulta spesso impossibile.

L'utilizzo dei licheni quali bioindicatori di inquinamento costituisce una valida alternativa e/o integrazione delle misure dirette, per le seguenti ragioni:

- a) l'alta efficienza del metodo, comprovata da una ricchissima letteratura a livello internazionale;
- b) il fatto che non richiede l'acquisto di un gran numero di apparecchiature costose;
- c) i tempi molto più rapidi di rilevamento da parte di un relativamente esiguo numero di tecnici opportunamente addestrati;
- d) la possibilità di utilizzare una vasta gamma di tecniche che si adattano al rilevamento di diversi tipi di inquinanti.

Il vantaggio principale, comunque, risiede nel fatto che i licheni, organismi a crescita molto lenta, riflettono con un elevato grado di precisione l'inquinamento medio annuo di una data area, fungendo quasi da "centraline naturali". Uno studio dell'inquinamento di una data area basato sui licheni permette di "foto-

grafare" la situazione dello stato dell'aria, individuando diverse zone con diversi tassi di inquinamento. Gli studi effettuati tramite i bioindicatori non vanno comunque considerati come alternativi, in tutti i casi, alle analisi di tipo diretto. In una concezione equilibrata delle tecniche di monitoraggio da adottare su un territorio i due approcci risultano spesso complementari e si integrano vicendevolmente. Ad esempio, l'eventuale localizzazione di centraline per la misura diretta in zone a rischio potrebbe venire effettuata sulla base della zonazione ottenuta con i bioindicatori, ottimizzando quindi la strategia di campionamento e permettendo una sensibile diminuzione dei costi. In molte città europee esistono delle stazioni fisse di monitoraggio che utilizzano i licheni, il cui controllo periodico permette di valutare peggioramenti o miglioramenti nello stato dell'aria su aree spesso anche assai vaste.

In conclusione, sulla base di considerazioni sia economiche, sia di ottimizzazione del lavoro svolto dal personale tecnico in termini di risultati pratici, è da auspicare che l'utilizzo dei licheni quali bioindicatori di inquinamento atmosferico venga introdotto su larga scala anche in Italia, in analogia a quanto è avvenuto negli altri paesi del Centro e Nord.

BIBLIOGRAFIA

- ABBAYES H. - 1951. *Traité de lichenologie. Lechevalier*, Paris: 1-127.
- ADDISON P.A., PUCKETT K.J. - 1980. Deposition of atmospheric pollutants as measured by lichen element content in the Athabasca oil sands sea. *Canad. J. Bot.*, 58: 2323-2334.
- ADRIANO D.C. - 1986. Trace Elements in the Terrestrial Environment. *Springer*. New York, 533 pp.
- ALMBORN O. - 1943. Lavfloran i botaniska tradgarden i Lund. *Bot. Notiser*, 96: 167-177.
- ALBORN O. - 1952. A key to the sterile corticolous crustaceous lichens occurring in South Sweden. *Bot. Not.*, 3: 239-263.
- AHTI T. - 1977. Lichens of the Boreal coniferous zone. In: SEAWARD M.R.D. (ed.) *Lichen Ecology*: 145-181.
- AMMANN K., HERZIG R., LIBENDOERFER L., URECH M. - 1989. Statistical correlation of deposition data on 8 different air pollutants to Swiss lichen IAP method in Biel and the Swiss plain. (Manosc. provv. in stampa).
- ANDERSEN A., HOVMAND M.F. & JOHNSEN I. - 1978. At-

- mospheric heavy metal deposition in the Copenhagen area. *Environm. Poll.* 17: 133-151.
- ARNOLD F. - 1901. Zur Lichenenflora von Munchen. *Ber. Bayer. bot. Ges.* 1-2, 5-8 (suppl.).
- BACCI E., CALAMARI D., GAGGI C., FANELLI R., FOCARDI S., MOROSINI M. - 1986. Chlorinated hydrocarbons in lichen and moss samples from the antarctic peninsula. *Chemosphere*, 15: 747-754.
- BARBALIC L. - 1979. Epifitski, lisaji u centru grada Zagreba. *Agr. Consp. Sc.*, 48: 41-45.
- BARBAGLI R., BARGHIGIANI C., SIEGEL B.Z., SIEGEL S.M. - 1989. A comparative accumulation of mercury and other metals by lichen, *Parmelia*, at a mine-site and in a volcanic area. *Water, Air and Soil Pollut.*, (in press).
- BARBAGLI R., IOSCO F.P., LEONZIO C. - 1985. Monitoraggio di elementi in tracce mediante licheni epifiti. *Inquinamento*, 2: 33-37.
- BARBAGLI R., IOSCO F.P., D'AMATO M. - 1987. Zonation of trace metal accumulation in three species of epiphytic lichens belonging to the genus *Parmelia*. *Cryptogam., Bryol. Lichenol.*, 8: 331-337.
- BARBAGLI R., FERRARA R., MASERTI B.E. - 1988. Mercury in the atmosphere and in lichens in a region affected by a geochemical anomaly. *Environmental Technology Letters*, 9: 689-694.
- BARBAGLI R. - 1989. Assessment of metal air pollution by epiphytic lichens: the incidence of crustal materials and of the possible uptake from substrate barks. *Studia Geobot.*, 8 (in press).
- BARGHIGIANI C., BARBAGLI R., GIOFFRÈ D. - 1988. Mercury in the environment of the Mt. Etna volcanic area. *Environ. Technol. Lett.*, 9: 239-244.
- BARGHIGIANI C., SIEGEL B.Z., BARBAGLI R., SIEGEL S.M. - 1989. The contribution of mercury from the thermal springs to the environmental contamination of Mt. Amiata. *Water, Air and Soil Pollut.*, (in stampa).
- BARKMAN J.J. - 1958. Phytosociology and Ecology of Cryptogamic Epiphytes. *Van Gorcum*, Assen, 2 vv.
- BARKMAN J.J. - 1963. De epiphyten-flora en -vegetatie van Midden-Limburg (Belgie). *Ver. K. ned. Akad. Vet.*, II, 54, 4: 1-46.
- BARKMAN J.J. - 1969. The influence of air pollution on bryophytes and lichens. In: *Air Pollution*. Wageningen: 197-209.
- BATIC F. - 1984. Rosnovne snacilnosti lisajev in kljuc za dolocanje nekaterih indikatorskih epifitskih lisajev. *Razisk. Onesn. Zr. v Sloveniji*, 2: 1-76.
- BESCHEL R. - 1952. Flechten und Moose in St. Peter Friedhof in Salzburg. *Mitt. naturw. Arbeitgem. Haus. Nat. Bot.*, 2: 44-51.
- BOULY DE LESDAIN M. - 1950. Lichens recueillis dans la ville et dans la citadelle de Lille. *Bull. Soc. Bot. Nord Fr.*, 3: 91-92.
- BORTENSCHLAGER S., SCHMIDT H. - 1963. Luftverunreinigung und Flechtenverbreitung in Linz. *Ber. naturw.-med. Ver. Innsbruck*, 53: 7-23.
- BOWEN H.J.M. - 1970. Determination of sulphate ion by replacement of iodate in iodine-131 labelled barium iodate. *Analyst*, London, 95: 665-667.
- BRODO I. - 1961. A study of lichen ecology in Long Island, New York. *Am. Midl. Nat.*, 65: 290-310.
- BRODO I. - 1966. Lichen growth and cities: a study on Long Islands, New York. *Bryologist*, 69: 427-449.
- BROWN D.H., BECKETT R.P. - 1985. The role of the cell wall in the intracellular uptake of cations by lichens. In: BROWN D.H. (ed.). *Lichen physiology and cell biology*. Plenum Press: 247-258.
- CANIGLIA G., GIULINI P., STAMPANI M. - 1978. Inquinamento atmosferico e licheni. Saggio di distribuzione nella Valle del Boite e a Cortina d'Ampezzo. *Atti IV Conv. Ecol. Prealpi Or.*: 279-293.
- CANIGLIA G., DRUDI C. - 1984. Considerazioni sulla distribuzione dei licheni in Laguna di Venezia. *Rend. Sem. Fac. Sc. Cagliari*, 54: 197-213.
- CASE J.W. - 1984. Lichen biomonitoring networks in Alberta. *Environ. Monit. Assess.*, 4: 303-313.
- CLERC P., ROH P.D. - 1979. Effects du fluor sur la vegetation lichenique corticole autour de la region de Martigny. *Bull. de la Murithienne*, 96: 23-41.
- CHRIST R., TURK R. - 1981. Die Indikation von Luftverunreinigungen durch CO₂-gaswechsel Messungen an Flechtentransplantaten. *Mitt. Forst. Bundesversuchsanst. Wien*, 137: 145-150.
- COPPINS B.J. - 1973. The Drought Hypothesis. In FERRY B.W. ET AL. (ed.) op. cit.: 124-142.
- COPPINS B.J., LAMBLEY P.W. - 1974. Changes in the lichen flora of the parish of Mendlesham, Suffolk, during the last fifty years. *Suffolk Nat. Hist.*, 16: 319-335.
- CRESPO A., MANRIQUE E., BARRENO E., SERINA E. - 1977. Valoracion de la contaminacion atmosferica del area urbana de Madrid mediante bioindicadores (Liquenes epifitos). *Anal. Inst. Bot. Cavanilles*, 34: 71-94.
- DEGELIUS G. - 1961. The lichen flora of the botanic garden in Gothenburg (Sweden). *Acta Horti Bot. Gothob.*, 24: 25-60.
- DERUELLE S. - 1977. Influence de la pollution at-

- mospherique sur la vegetation lichenique des arbres isoles dans la region de Mantes (Yvelines). *Rev. Bryol. Lichenol.*, 43 (2): 137-158.
- DERUELLE S. - 1978. Etude comparee de la sensibilit  de trois methodes d'estimation de la pollution atmospherique. *Rev. Bryol. Lichenol.*, 44 (4): 429-441.
- DERUELLE S. - 1983. Ecologie des Lichens du bassin Parisien. Impact de la pollution atmospherique et relation avec les facteurs climatiques. Univ. P.M. Curie. These de Doct., 2 voll.
- DERUELLE S., GARCIA SCHAEFFER M. - 1983. Les lichens bioindicateurs de la pollution atmospherique dans la region Parisienne. *Cryptogam. Bryol. Lichenol.*, 4 (1): 47-64.
- DERUELLE S., LALLEMANT R. - 1983. Les lichens temoins de la pollution. *Librairie Vuibert*: 29-53, 73-100.
- DERUELLE S., PETIT P.J.X. - 1983. Preliminary studies on the net photosynthesis and respiration responses of some lichens to automobile pollution. *Cryptogamie, Bryol., Lichenol.*: 269-277.
- DES ABBAYES H. - 1934. La vegetation lichenique du Massif Armoricain. *Rennes*, 267 pp.
- DE SLOOVER J. - 1964. Vegetaux epiphytes et pollution de l'air. *Revue Quest. Scient.*, 25: 531-561.
- DE WIT T. - 1976. Epiphytic lichens and air pollution in the Netherlands. *Bibl. Lichenol.*, 5, 227 pp.
- DOMROS M. - 1966. Luftverunreinigung und Stadtklima im Rheinisch Westfalischen Industriegebiet und ihre Auswirkeng auf den Flechtenbewuchs der Baume. *Arb. rhein. Landesk.*, 23: 1-132.
- DU RIETZ G.E. - 1924. Die Soredien und Isidien der Flechten. *Sv. Bot. Tidskr.*, 18: 371-396.
- ERICHSEN C.F.E. - 1906. Beitrage zur Flechtenflora der Umgegend von Hamburg und Holsteins. *Ver. Naturw. Ver. Hamb.* III, 13: 44-104.
- FARKAS E., LOKOS L., VERSEGHY K. - 1985. Lichens as indicators of air pollution in the Budapest agglomeration. 1. Air pollution map based on floristic data and heavy metal concentration measures. *Acta Bot. Hung.*, 31: 45-68.
- FARRAR J.F. - 1973. Lichen physiology: progress and pitfalls. In FERRY B.W. ET AL. (eds.) op. cit.: 238-282.
- FENTON A.F. - 1960. Lichens as indicators of atmospheric pollution. *Ir. Nat. J.*, 13: 153-159.
- FENTON A.F. - 1964. Atmospheric pollution of Belfast and its relationship with the lichen flora. *Ir. Nat. J.*, 14: 237-245.
- FERRY B.W., BADDELEY M.S., HAWKSWORTH D.L. (eds.), - 1973. Lichens and air pollution. *Univ. Toronto Press*. Toronto, 390 pp.
- FLETCHER T. - 1982. Conservation of woodland lichens. *BLS Bull.*, 50: 15-18.
- FOLKESON L. - 1981. Heavy metal accumulation in the moss *Pleurotium schreberi* in the surroundings of two peat-fired plants in Finland. *Ann. Bot. Fennici*, 18: 245-253.
- FOLLMANN G. - 1973. Uber den Ruckgang der Flechtenflora in Stadtgebiet von Kassel. *Philippia*, 1: 241-257.
- FRILEUX P.N., LEROND M. - 1978. Estimation de la pollution atmospherique par une methode biologique dans l'agglomeration Rouennaise. *Actes Mus. Roun.*, 4: 27-301.
- GAILEY F.A.Y., SMITH G.H., RINTOUL L.J., LLOYD O.L. - 1985. Metal deposition patterns in Central Scotland, as determined by lichen transplants. *Environ. Monit. Assess.*, 5: 291-301.
- GARTY J., GALUN M., KESSEL M. - 1979. Localition of heavy metals and other elements accumulated in the lichen thallus. *New Phytol.*, 82: 159-168.
- GARTY J., GALUN M., ZISAPEL N. - 1985. Heavy metals in the lichen *Caloplaca aurantia* from urban, suburban and rural regions in Israel (A comparative study). *Symbiosis*, 5, vol. 1.
- GARTY J., FUCHS C. - 1982. Heavy metals in the lichen *Ramalina duriaei* transplanted in biomonitoring stations. *Water, Air and Soil Pollut.*, 17: 175-183.
- GARTY J., HAGEMEYER J. - 1988. Heavy metals in the lichen *Ramalina duriaei* transplanted in biomonitoring stations in the region of a coal-fired power plant in Israel after 3 years of operation. *Water, Air and Soil Pollut.*, 38: 311-323.
- GEHU J.M., BON M., DELZENNE-VAN HALUWYIN C., ROSE M.F. - 1973. Essai de cartographie de la pollution atmospherique acide dans le Nord de la France en relation avec la toxisensibilite des lichens epiphytes. *C.R. Acad. Sc. Paris*, 276: 729-732.
- GILBERT O.L. - 1965. Lichens as indicators of air pollution in the Thyne Valley. In: GOODMAN ET AL. (ed.) Ecology and the Industrial Society: 35-47. Oxford. *Blackwell*.
- GILBERT O.L. - 1969. The effect of SO₂ on lichens and bryophytes around Newcastle upon Tyne. In: Air Pollution, proceedings of the first European congress on the influence of air pollution on plants and animals, Wageningen 1968: 223-235.
- GILBERT O.L. - 1971. The effect of airborne fluorides

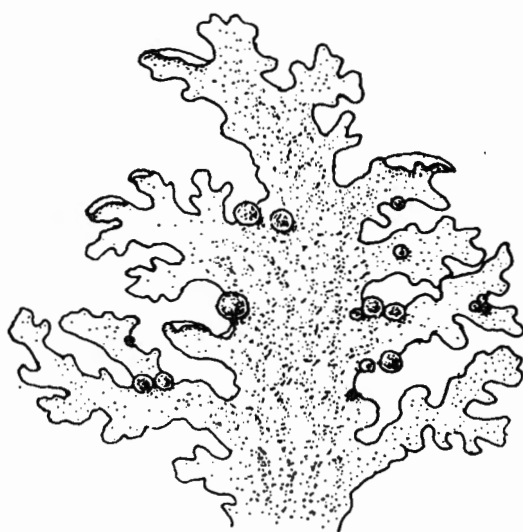
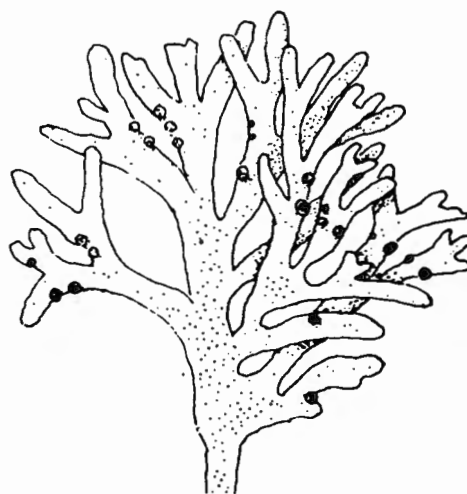
- on lichens. *Lichenologist*, 5: 26-32.
- GILBERT O.L. - 1986. Field evidence for an acid rain effect on lichens: *Environ. Pollut.*, 40: 227-231.
- GOYAL R., SEAWARD M.R.D. - 1981. Lichen ecology of the Scunthorpe heathlands. II. Industrial metal fallout pattern from lichen and soil assays. *Lichenologist*, 13: 289-300.
- GOYAL R., SEAWARD M.R.D. - 1982. Metal uptake in terricolous lichens. III. Translocation in the thallus of *Peltigera canina*. *New Phytol.*, 90: 85-98.
- GRANGER J.M. - 1970. Computer mapping as an aid in air pollution studies: Montreal region study. In: GOODRICH J.C. (ed.) Laboratory for computer graphics and spatial analysis. Cambridge, Mass. Harvard University.
- GRIFFITH J.L. - 1966. Some aspects of the effect of atmospheric pollution on the lichen flora to the west of Consett, Co. Durham. M. Sc. Thesis. University of Durham.
- GÜTTE P., HALLEBACH M., KOHLER H. - 1976. Untersuchungen ueber die Verbreitung epixyler Flechten zur Feststellung des Umfanges der Luftverunreinigung im Leipziger Raum. *Hercynia*, 13: 446-458.
- HALLINGBACH T. - 1986. The decline of three species of *lobaria* in Sweden. *Svensk Bot. Tidskrift*, 80: 373-381.
- HAWKSWORTH D.L. - 1973. Mapping studies. In FERRY B.W. ET AL. (eds.) op. cit.: 38-71.
- HAWKSWORTH D.L., ROSE L. - 1970. Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature*, 227: 145-148.
- HAWKSWORTH D.L., CHAPMAN D.S. - 1971. *Pseudevernia furfuracea* (L.) ZOPF. and its chemical races in the British Isles. *Lichenologist*, 5: 21-24.
- HERZIG R., LIEBENDOERFER L., URECH M. - 1985. Flechten als biologische Indikatoren der Luftverschmutzung in der Schweiz. Methodenentwicklung in der Region Biel-Seeland. Lizentiatarbeit Univ. Bern, 241 pp.
- HERZIG R., LIEBENDOERFER L., URECH M., AMMANN K., 1987. Evaluation und Kalibrierung einer Flechtenindikationsmethode mit wichtigen Luftschaden. In: Bioindikation - Wirkungsbezogene Erhebungsverfahren für den Immissionschutz. *Freising VDI-Koll*, 609: 619-639.
- HOPP U., KAPPEN L. - 1981. Einige Aspekte zur immissionsbedingte Verbreitung von Flechten im Stadtgebiet von Würzburg. *Ber. Bayer. Bot. Ges.*, 52: 15-24.
- HUTTON M., SYMON C. - 1986. The quantities of Cadmium, Lead, Mercury and Arsenic entering the U.K. environment from human activities. *Sci. Tot. Envir.*, 57: 129-150.
- JAMES P.W. - 1973. The effects of air pollutants other than hydrogen fluoride and sulphur dioxide on lichens. In FERRY B.W. ET AL. (eds.) op. cit.
- JOHNSEN I., SOECHTING U. - 1973. Influence of air pollution on the epiphytic lichen vegetation and bark properties of deciduous trees in the Copenhagen area. *Oikos*, 24: 344-351.
- JOHNSON D.W. - 1979. Air pollution and the distribution of corticolous lichens in Seattle, Washington. *Northwest Sc.*, 53 (4): 257-263.
- JONES E.W. - 1952. Some observations on the lichen flora of tree boles, with special reference to the effect of smoke. *Rev. Bryol. Lichenol.*, 21: 96-115.
- KAUPPI M. - 1980. Fluorescence microscopy and microfluorometry for the examination of pollution damage in lichens. *Ann. Bot. Fenn.*, 17: 163-173.
- KAUPPI M., MIKKONEN A. - 1980. Floristic versus single species analysis in the use of epiphytic lichens as indicators of air pollution in a boreal forest region. *Northen Finland. Flora*, 169: 255-281.
- KISELEV V.N. ET AL. - 1986. Lichens indicators of air pollution in green zones of industrial centers in Belorussia. *Soviet J. Ecol.*, 17: 85-89.
- KLEMENT O. - 1958. Die Flechtenvegetation der Stadt Hannover. *Beitr. Naturk. Niedersachs.* 11: 56-60.
- KNEIPER E.J., SHERWOOD-PIKKEE M.A. - 1985. The former and the present lichen flora of the Boston metropolitan area. *Am. J. Bot.*, 72: 794.
- KROG H. - 1970. Lav og luftforurenninger. Oslo: Norsk Inst. f. Luftforskning.
- KLUSMAR R.W., JAACKS J.A. - 1987. Environmental influence upon mercury, radon and helium concentrations in soil gases at a site near Denver, Colorado. *J. Geoch. Explor.*, 27: 259-280.
- KOVALEVSKII A.L. - 1986. Mercury-biogeochemical exploration for mineral deposits. *Biogeochemistry*, 2: 211-220.
- LAAKSOVIRTA G.K.G., ALAKUJALA P. - 1978. Lead, cadmium and zinc content of fungi in the parks of Helsinki. *Ann. Bot. Fenn.*, 15: 253-257.
- LAAKSOVIRTA G.K.G., OLKKONEN H. - 1979. Effect of air pollution on epiphytic lichen vegetation and element contents of an lichen and pine needles at Valkeakoski, S. Finland. *Ann. Bot. Fenn.*, 16: 285-296.
- LAUNDON J.R. - 1967. A study of the lichen flora of London. *Lichenologist*, 3: 277-327.

- LAUNDON J.R. - 1973. Urban Lichen Studies. In: FERRY B.W. ET AL. (eds.), op. cit.: 109-123.
- LAWREY J.D., HALE M.E. - 1979. Lichen growth responses to stress induced by automobile exhaust pollution. *Science*, 204: 423-424.
- LE BLANC F. - 1961. Influence de l'atmosphère polluée des grandes agglomérations urbaines sur les épiphytes Corticoles. *Rev. Canad. Biol.*, 20. Ottawa.
- LE BLANC F., DE SLOOVER J. - 1972. Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Can. J. Bot.*, 48: 1485-1496.
- LE BLANC F., DE SLOOVER J. - 1972. Effect de l'industrialisation et de l'urbanisation sur la végétation épiphyte de Montreal. *Sarracenia*, 15: 1-41.
- LE BLANC F., RAO D.N. - 1973. Effects of sulphur dioxide on lichens and mosses transplant. *Ecology*, 54: 612-617.
- LE BLANC F., RAO D.N. - 1975. Effects of air pollutants on lichens and bryophytes. In: MUDD J.B., KOZLOWSKI T.T. (eds.). Responses of plants to air pollution. *Academic Press*. New York: 237-272.
- LE BLANC F., ROBITAILLE G., RAO D.N. - 1974. Biological response of lichens and bryophytes to environmental pollution in the Murdochville copper mine area, Quebec. *J. Hattori Bot. Lab.*, 38: 405-433.
- LISKA J. - 1985. On the occurrence and ecology of lichens in Prague. *Prirod. Vyznam Prahy*: 93-102. Praha.
- LODENIUS M. - 1981. Regional distribution of mercury in *Hypogymnia physodes* in Finland. *Ambio*, 10 (4): 44-45.
- LOFGREN O., MOBERG R. - 1984. Oceaniska lavar i Sverige och deras tillbakagång. *Statens naturvårdsverk PM 1819*.
- LUNDSTROEM H. - 1968. Luftfororeningans inverkan pa epifytfloran hos barrtraed i Stockholmssomradet. *Stud. Forest. suec.* 56: 1-55.
- MACKENZIE D. - 1986. The rad-dosed reindeer. *New Scientist*, 1539: 37-40.
- MARGOT J. - 1973. Experimental study of the effects of sulphur dioxide on the soredia of *Hypogymnia physodes*. In: FERRY B.W. ET AL. (eds.) op. cit.: 314-329.
- MARTIN L., ENSAAR A. - 1983. Lichenoindikatsiya i matematicheskoe modelirovanie rasprostraneniya dviokisi sery na territorii Tallina. *Eesti NSV Tead. Akad. Toimet. Biol.*, 32.
- MANGHI E. - 1990. Aria di città. *Oasis*, VI (1-2): 26-29.
- NASH T.H. - 1971. Lichen sensitivity to hydrogen fluoride. *Bull. Torrey Bot. Club*, 98: 103-106.
- NASH T.H. - 1972. Simplification of the Blue Mountain lichen communities near a zinc factory. *Bryologist*, 75: 315-324.
- NASH T.H. - 1975. Influence of effluents from a zinc factory on lichens. *Ecol. monogr.*, 45: 183-198.
- NASH T.H., SIGAL L. - 1979. Gross photosynthetic response of lichens to short term ozone fumigations. *Bryologist* 82: 280-285.
- NASH T.H., SIGAL L. - 1980. Sensitivity of lichens to air pollution with an emphasis on oxidant air pollutants. In: MILLER P.R. (tech. coord.). Proceedings of the symposium on effects of air pollutants on mediterranean and temperate forest ecosystems, June 22-27, 1980. Riverside. California.
- NATHO G. - 1964. Die Verbreitung der epixylen Flechten und Algen im Demokratischen Berlin. *Wiss. Z. Humb. Univ. Berlin, math.-nat. R.*, 13: 53-75.
- NIEBOER E., AHMED H.M., PUCKETT K.J., RICHARDSON D.H.S. - 1972. Heavy metal content of lichens in relation to distance from a nickel smelter in Sudbury. Ontario. *Lichenologist*, 5: 292-304.
- NIEBOER E., RICHARDSON D.H.S., 1981. Lichens as monitors of atmospheric deposition. In: EISENREICH S.J. (ed.). Atmospheric pollutants in natural waters. *Michigan Ann. Arbor.*: 339-388.
- NIEBOER E., RICHARDSON D.H.S., LAVOIE P., PADOVAN D. - 1979. The role of metal-ion binding in modifying the toxic effects of sulphur dioxide on the lichen *Umbilicaria muhlenbergii*. I. *New Phytol.*, 82: 621-632.
- NIEBOER E., RICHARDSON D.H.S., TOMASINI F.D. - 1978. Mineral uptake and release by lichens: an overview. *Bryologist*, 81: 226-246.
- NIMIS P.L. - 1985. Urban Lichen Studies in Italy. Ist: the town of Trieste. *Studia Geobot.*, 5: 49-74.
- NIMIS P.L. - 1986. Urban Lichen Studies in Italy. Iist: the town of Udine. *Gortania*, 7: 147-172.
- NIMIS P.L. - 1989. Urban Lichen Studies in Italy. IIIst: the city of Rome. *Ann. Bot.* (in stampa).
- NIMIS P.L., GIOVANI C. & R. PADOVANI - 1987. La contaminazione da Cs 137 e Cs 134 nei macromiceti del Friuli-Venezia Giulia nel 1986. *Studia Geobot.*, 6: 3-121.
- NIMIS P.L., TRETACH M. - 1987. Flora e vegetazione lichenica di aree archeologiche del Lazio. *Studia Geobot.*, 7, 161 pp.
- NIMIS P.L., LAZZARIN G. ET AL., BARGAGLI R., CASTELLO M., BENEDET A., OLIVIERI S. & TRETACH M. - 1990. Licheni come bioindicatori di inquinamento at-

- mosferico nell'Alto Vicentino. *Atti Mus St. Nat. Verona* (in stampa).
- NORDFORSK - 1971. Use of lichens as air pollution indicators. *Scand. Res. Inf. Notes*, 6, 12.
- NYLANDER W. - 1986. Les lichens du Jardin de Luxembourg. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 13: 364-372.
- OLMEZ I., CETIN GULOVALI M., GORDON G. E. - 1985. Trace elements concentrations in lichens near a coal-fired power plant. *Atm. Envir.*, 19: 1663-1669.
- OSORIO H., FLEIG M. - 1985. Contribution to the lichen flora of Brazil. 16. Lichens from the vicinity of the Rio Grande City. *Com. Bot. Mus. Hist. Nat. Montevideo*, 4: 1-7.
- PAKARINEN P. - 1981. Nutrient and trace content and retention in reindeer lichen carpets of Finnish ombrophitic bogs. *Ann. Bot. Fenn.*, 18: 265-274.
- PAKARINEN P., MAKINEN A., RINNE R.J.K. - 1978. Heavy metals in *Cladonia arbuscula* and *Cladonia mitis* in eastern Fennoscandia. *Ann. Bot. Fennici*, 15: 281-286.
- PEARSON L.C., SKYE E. - 1965. Air pollution effects pattern of photosynthesis in *Parmelia sulcata*, a corticolous lichen. *Science*, N.Y., 148: 1600-1602.
- PERKINS D.F., MILLAR R.O., NEEP P.E. - 1980. Accumulation of airborne fluoride by lichens in the vicinity of an aluminium reduction plant. *Environ. Pollut.* (ser. A), 21: 155-168.
- PERKINS D.F., MILLAR R.O. - 1987. Effects of airborne fluoride emissions near an aluminium works in Wales. Part I- Corticolous lichens growing on broadleaved trees. *Environ. Pollut.*, 47: 63-78.
- PEREZ DE LA TORRE O.H. - 1985. La flora liquenica epifita y su relacion con la contaminacion atmosferica en La Plata y alrededores (Provincia de Buenos Aires). 1. *CNICT contr. Nr. 106*.
- PISUT I., LISICKA E. - 1985. A study of the cryptogamic epiphytes on an oak trunk in the vicinity of Bratislava in the years 1973-1983. *Ekologia*, 4: 225-234.
- PIERVITTORI R., MONTACCHINI F. - 1980. Regressione della presenza lichenica in zone montane per effetto della progressiva urbanizzazione: Bardonecchia. *Allionia*, 24: 139-141.
- PILEGAARD K. - 1978. Airborne metals and SO₂ monitored by epiphytic lichens in an industrial area. *Environ. Pollut.*, 17: 81-92.
- PILEGAARD K. - 1979. Heavy metals in bulk precipitation and trasplanted *Hypogymnia physodes* and *Dicranoweisia cirrata* in the vicinity of a Danish steelwork. *Water, Air and Soil Pollution*, 11: 77-91.
- PUCKETT K.J. - 1976. The effect of heavy metals on some aspects of lichen physiology. *Canad. J. Bot.*, 54: 2695-2703.
- PUCKETT K.J. - 1988. Bryophytes and lichens as monitors of metal deposition. *Bibl. Lichenol.*, 30: 231-267.
- PUCKETT K.J., NIEBOER E., GORZYNSKI M.J., RICHARDSON D.H.S. - 1973. The uptake of metal ions by lichens: a modified ion exchange process. *New Phytol.*, 72: 329-342.
- PUNZ W. - 1979. The effect of single and combined pollutants on lichen water content. *Biol. Pl.*, 21: 472-474.
- PYATT F.B. - 1970. Lichens as indicators of air pollution in a steel producing town in South Wales. *Environ. Pollut.*, 1: 45-56.
- RABE R., WIEGEL H. - 1985. Wiederbesiedlung des Ruhrgebiets durch Flechten zeigt Verbesserung der Luftqualität an. *Staub.-Reinh. Luft*, 45: 124-126.
- RAITVIIR A., TRASS H. - 1975. Mycological and lichenological researches in 1969-1974. In: Some aspects of botanical research in the Estonian S.S.R., Tartu: 39-45.
- RAO D.N., LE BLANC F. - 1966. Effects of sulphur dioxide on lichen algae with special reference to chlorophyll. *Bryologist*, 69: 69-75.
- RAO D.N., LE BLANC F. - 1967. Influence of an iron-sintering plant on corticolous epiphytes in Wawa, Ontario. *Bryologist*, 69: 69-75.
- RAO D.N., ROBITAILLE G., LE BLANC F. - 1977. Influence of heavy metal pollution on lichens and bryophytes. *Journ. Hattori Bot. Lab.*, 42: 213-239.
- RASMUSSEN L., PILEGAARD K., GYDESEN H. - 1980. The application of cryptogams as monitoring organisms of metal air pollution in Denmark. *Bot. Tidsskr.*, 75: 93-99.
- RECCHIA F., POLIDORO F. - 1988. Osservazioni sui licheni nelle vicinanze di un cementificio. *Arch. Bot. Biogeogr. Ital.*, 64 (1-2): 8-18.
- RICHARDSON D.H.S. - 1988. Understanding the pollution sensitivity of lichens. *Bot. J. Linn. Soc.*, 96: 31-34.
- RICHARDSON D.H.S., NIEBOER E., LAVOIE P., PADOVAN D. - 1979. The role of metal-ion binding in modifying the toxic effects of sulphure dioxide on the lichen *Umbilicaria muhlenbergii*. II. *New Phytol.*, 82: 633-643.
- RICHARDSON D.H.S., PUCKETT K.J. - 1973. Sulphur dioxide and photosynthesis in lichens. In FERRY

- B.W. ET AL. (eds.) op. cit.: 283-313.
- ROGERS R.W. - 1977. The city effect on lichens in the Brisbane area. *Search*, 8 (3): 75-77.
- ROSE C.I., HAWKSWORTH D.L. - 1981. Lichen recolonization in London's cleaner air. *Nature*, 289: 289-292.
- RYDZAK J. - 1954. Rozmieszczenie i ekologia porostow miasta Lublina. *Annls. Univ. Mariae Curiae Sklodowska*, C, 8: 233-356.
- RYDZAK J. - 1969. Lichens as indicators of the ecological conditions of the habitat. *Annls. Univ. Mariae Curiae Sklodowska*, C, 23: 131-164.
- SEAKI M., KUNII K., SEKI T., SUZUKI T. - 1975. A lichen (*Parmelia conspersa*) surviving with elevated concentration of lead and copper in the center of Sendai city. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 14: 726-730.
- SCHOENBECK H. - 1972. Untersuchungen in Nordrhein-Westfalen uber Flechten als Indikatoren für Luftverunreinigungen. *Schriftenreihe der LIB des Landes NW*, 26: 99-104.
- SKYE E. - 1964. Epifytfloran och luftforeningarna. *Svensk Naturv.*: 327-332.
- SKYE E. - 1965. Botanical indications of air pollution. *Acta Phytogeogr. Suec.*, 50: 285-287.
- SKYE E. - 1968. Lichens and air pollution. A study of cryptogamic epiphytes and environment in the Stockholm region. *Acta Phytogeogr. Suec.*, 52: 1-123.
- SKYE E., HALLEMBERG I. - 1969. Changes in the lichen flora following air pollution. *Oikos*, 20: 547-552.
- SEAWARD M.R.D. - 1974. Some observations on heavy metal toxicity and tolerance in lichens. *Lichenologist*, 6: 158-164.
- SEAWARD M.R.D., GOYAL R., BYLINSKA E.A. - 1978. Heavy metal content of some terricolous lichens from mineral enriched sites in Northern England. *Naturalist*, 103: 135-141.
- SEAWARD M.R.D. & HITCH J.C.B. (eds.) - 1982. Atlas of the lichens of the British Isles. *Univ. of Bradford*.
- SERGIO C., BENTO-PEREIRA F. - 1981. Liqueues e briofitos como bioindicadores da poluicao atmosferica. I. Utilizacao de uma escala qualitativa para Lisboa. *Bol. Soc. Brot. Ser. 2*, 54: 291-303.
- SHOWMAN R.E. - 1972. Residual effects of sulphur dioxide on the net photosynthetic and respiratory rates of lichen thalli and cultured lichen symbionts. *Bryologist*, 75: 335-341.
- SIGAL L.L., NASH T.H. - 1983. Lichen communities on conifers in southern Californian mountains: an ecological survey relevant to air pollution. *Ecology*, 64: 1343-1354.
- SIGAL L.L., TAYLOR O.C. - 1979. Preliminary studies of the gross photosynthetic response of lichens to peroxyacetyl-nitrate fumigations. *Bryologist*, 82: 564-575.
- SILVA-PANDO F.J., ASCASO C. - 1982. Modificaciones ultraestructurales de liquenes epifitos transplantedos a zonas urbanas de Madrid. *Collect. Bot.*, 13: 351-374.
- SMITH F.B., CLARK M.J. - 1986. Radionuclide deposition from the Chernobyl cloud. *Nature*, 322: 690-691.
- SOCHTING U., JOHNSEN I. - 1974. Changes in the distribution of epiphytic lichens in the Copenhagen area from 1936 to 1972. *Bot. Tidsskr.*, 69: 60-63.
- STAMPANI M. - 1982. I licheni: indicatori fisiologici della qualità dell'aria. *Le Scienze*, 167: 60-69.
- SPENLING N. - 1971. Flechten und Flechtengesellschaften des Waldviertels. *Herzogia*, 2: 161-230.
- STEINER M., SCHULZER D. - 1955. Ueber die Verbreitung und Expositionsabhängigkeit der Rindenepiphyten im Stadtgebiet von Bonn. *Decheniana*, 108: 1-16.
- STOKER H.S., SEAGER S.L. - 1974. Inquinamento dell'aria e dell'acqua. Fondamenti di chimica ambientale. *Ist. Ed. Internaz. Milano*.
- SUGIYAMA K., KUROKAWA S., OKADA G. - 1976. Studies on lichens as a bioindicator of air pollution. I. Correlation of distribution of *Parmelia tinctorum* with SO₂ air pollution. *Jap. J. Ecol.*, 26: 209-219.
- TAKALA K., KAURANEN P., OLKONEN H. - 1978. Fluorine content of two lichens species in the vicinity of fertilizer factory. *Ann. Bot. Fenn.*, 15: 160-164.
- THOMAS W., RUHLING A., SIMON H. - 1984. Accumulation of airborne pollutants (PAH, chlorinated hydrocarbons, heavy metals) in various plant species and humus. *Environ. Poll. (Ser. A)*, 36: 295-310.
- TRETIACH M., NIMIS P.L. - 1988. Lichenological Studies in NE Italy. II. Distribution and Ecology of *Normandina pulchella* (BORR.) NYL. *Gortania* (in press).
- THROWER S.L. - 1980. Air pollution and lichens in Hong Kong. *Lichenologist*, 12: 305-311.
- TRASS H. - 1973. Lichen sensitivity to the air pollution and index of poleotolerance (I.P.). *Fol. Crypt. Est.*, 3: 19-22.
- TUOMINEN Y., YAAKKOLA T. - 1973. Absorption and accumulation of elements. In: V. AHMADJIAN & M.H. HALE (eds.) *The Lichens. Academic Press*: 185-223.

- TURIAN G. - 1985. Lichens as indicators of air pollution (zone-scales of Geneva). *Experientia*, 41: 534-535.
- TURIAN G., DESBAUMES P. - 1975. Cartographie de quelques lichens indicateurs de la pollution atmosphérique à Genève. *Saussurea*, 6: 317-324.
- TURK R., CHRIST R. - 1986. Beitrag zur epiphytischen Flechtenflora im Stadtgebiet von Wien. *Verh. Zool. Bot. Ges. Oesterr.*, 124: 65-80.
- TURK R., SEGER M. - 1987. Immissionsökologische Studie über den epiphytischen Flechtenbewuchs im Raum Klagenfurt. *Klag. Geogr. Schriften*, 5: 25-41.
- TURK R., WITTMANN H. - 1986. Rote Liste gefährdeter Flechten (Lichenes) Österreichs. Wien.
- VAN DOBBEN H.F. - 1986. Decline of epiphytic lichens in the Netherlands. *Acta Bot. Neerl.*, 35: 52-53.
- VARESCHI V. - 1936. Die epiphytenvegetation von Zürich. *Ber. Schweiz. Bot. Ges.*, 46: 445-488.
- VARESCHI V. - 1953. La influencia de los bosques y parques sobre el aire de la ciudad de Caracas. *Acta cienc. venez.*, 4: 89-95.
- VESTERGAARD N.K., STEPHANSEN U., RASMUSSEN L. - 1986. Airborne heavy metal pollution in the environment of a Danish steel plant. *Water, Air, Soil Poll.*, 27: 363-377.
- VINCENT J.P. - 1968. Contribution à l'étude et à la cartographie de la Pollution atmosphérique de la ville de Toulouse, à l'aide des epiphytes et des epilithes. These 3me-Cycle. Toulouse, 174 pp.
- WALTER H., LIETH H. - 1960. Klimadiagramm-Weltatlas. *Fischer Verlag*.
- WANNER H., AMMANN K., BERLINCOURT P., FILLIGER P., LIEBENDOERFER L., RICKLI R., URECH M. - 1986. Urban meteorology and air pollution in Biel-Bienne (Switzerland). International Symp. on Climatology. *Freib. Geogr. Hefte*, vol 1986 (in press).
- WETMORE C.M. - 1983. Lichens of the air quality class I. National Parks. Final Report. Denver, Colorado, National Park Service.
- WIRTH V. - 1980. Flechtenflora. *Ulmer*. Stuttgart, 552 pp.
- WIRTH V., BRINCKMANN B. - 1977. Statistical analysis of the lichen vegetation of an avenue in Freiburg, with regard to injurious anthropogenous influences. *Oecologia*, 28: 87-101.
- ZAKSHEK E.M., PUCKETT M.E. - 1986. Lichens sulphur and lead levels in relation to deposition patterns in eastern Canada. *Water, Air, Soil Poll.*, 30: 161-169.
- ZIMNY H., KUCINSKA M. - 1974. Les lichens de Warsaw comme bioindicateurs de la dégradation de l'environnement urbain. *Przeglad Inform.*, 10: 13-21.
- ZUST S. - 1977. Die epiphytenvegetation im Raume Zürich als Indikator der Umweltbelastung. *Veroff. Geobot. Inst. Zurich*, 62: 1-113.

*Lobaria pulmonaria**Sticta dichotomoides*