

**La discarica del Cassero:
i monitoraggi 1996 - 2000**

Studio della biodiversità lichenica
e del bioaccumulo di metalli pesanti in

Parmelia caperata

La discarica del Cassero: i monitoraggi 1996 - 2000

Studio della biodiversità lichenica e del
bioaccumulo di metalli pesanti in
Parmelia caperata



Firenze, aprile 2002

La discarica del Cassero:

i monitoraggi 1996 - 2000

Studio della biodiversità lichenica

e del bioaccumulo di metalli pesanti in

Parmelia caperata

© ARPAT 2002

Coordinamento editoriale e redazione: Silvia Angiolucci, ARPAT

Ha collaborato alla redazione: Gabriele Rossi, ARPAT

Realizzazione editoriale: Litografia I.P., Firenze

Copertina: Franco Signorini

Foto: Juri Vannini, Valentina Bigagli

Disegni: Lorenzo Bigagli

Elaborazioni cartografiche: Davide Migliacci

Finito di stampare nel mese di aprile 2002

Indice

Presentazione	Renzo Bardelli <i>Presidente Pistoiamambiente s.r.l.</i>	pag. 7
	Alessandro Lippi <i>Direttore generale ARPAT</i>	8
	Stefano Loppi <i>Dipartimento di Scienze ambientali, Università degli Studi di Siena</i>	9
Introduzione	Adelmo Corsini <i>ARPAT, Dipartimento provinciale di Pistoia</i>	11
I licheni		13
Struttura		14
Riproduzione		16
Perché i licheni come bioindicatori		21
Obiettivo della ricerca		23
Caratteristiche del territorio		23
Scheda tecnica – La discarica del Cassero		25
Metodologia e risultati		27
Il metodo della biodiversità lichenica		27
Risultati		29
Il metodo dei licheni come bioaccumulatori		33
Risultati		34
Gli indici ecologici: ulteriori informazioni dai licheni		40
Considerazioni		42
Bibliografia		43

Autori

Valentina Bigagli

Juri Vannini

Adelmo Corsini

Carlo Rossetti

Andrea Costa

Carlo Bruscoli

ARPAT, Dipartimento provinciale di Pistoia

Stefano Loppi

*Dipartimento di Scienze ambientali,
Università degli Studi di Siena*

Presentazione

Pistioambiente s.r.l. è soddisfatta di aver favorito la promozione dell'iniziativa di monitoraggio dell'ambiente circostante la discarica del Cassero, allo scopo di attivare ogni strumento scientifico atto a valutare con esattezza gli effetti che il funzionamento di un impianto di insostituibile valenza sociale ha sul territorio interessato.

Abbiamo potuto contare sulla professionalità e sull'impegno degli operatori del Dipartimento provinciale ARPAT di Pistoia, che si sono impegnati nel lavoro con entusiasmo quasi pionieristico, consapevoli del contributo di chiarezza e trasparenza che le loro valutazioni tecnico-scientifiche avrebbero portato a una ricerca poggiata su dati sempre più probanti, atti a determinare una soglia di partenza (le caratteristiche ambientali del punto zero) che saranno per il periodo di vita e di post mortem della Discarica costante punto di riferimento.

Questa pubblicazione ha lo scopo di dar conto di un lavoro prezioso e pressoché unico, dai risultati del quale non si potrà più prescindere quando, nel tempo, si vorranno "misurare" modifiche e novità, e scandagliare gli effetti dell'impatto ambientale, senza lasciare spazio a giudizi approssimativi o demagogici, o a interessate posizioni pregiudiziali: i riscontri, le verifiche, gli "effetti veri" che si potranno determinare saranno affidati a rigorosi confronti scientifici.

Pistoiambiente, proseguendo nella linea di trasparenza e vigilanza, di messa in atto di tutto quanto – nel rispetto più rigoroso delle leggi – occorra per garantire un andamento ottimale della gestione della Discarica, ha realizzato una convergenza con la dirigenza del Dipartimento provinciale ARPAT di Pistoia, anche per rimarcare l'indispensabilità di un rapporto di stretta collaborazione con gli organi preposti alla tutela dell'ambiente, un bene di tutti, da perseguire come tale nella distinzione e autonomia dei ruoli ma nell'unità degli sforzi, e degli intenti, per soddisfare preminenti necessità collettive.

Pistoiambiente non lesinerà certo energie e investimenti per giungere a un *modello operativo della Discarica* che corrisponda all'esigenza di dare alla popolazione circostante garanzie di corretta gestione.

Proprio per la volontà di perseguire questo, irrinunciabile, obiettivo, organi di controllo e vigilanza come quello rappresentato da ARPAT saranno sempre "benvenuti", perché noi li pensiamo come "alleati" in grado di fornire un rassicurante apporto tecnico-scientifico.

Con questo spirito, ringraziamo la Direzione di ARPAT e tutti coloro che hanno reso possibile la pubblicazione.

Renzo Bardelli

E' ormai pensiero condiviso il fatto che l'efficacia della protezione ambientale non dipenda più dalla conoscenza, ancorché dettagliata, dell'ambiente e delle pressioni che su di esso agiscono, ma che a queste informazioni si debbano affiancare anche valutazioni di effetto che, attraverso la verifica di sinergie ed interazioni, permettano di stimare l'effettivo grado di sofferenza ambientale.

In quest'ottica, le tecniche di bioindicazione hanno trovato ampi spazi applicativi e ARPAT, intuendo la modernità e l'utilità di questo approccio, nell'accogliere varie proposte ha incoraggiato gli operatori che, dopo un inizio quasi pionieristico e occasionale, si stanno dedicando in forma sempre più strutturata a questa nuova disciplina.

La pubblicazione del Manuale ANPA *IBL - Indice di Biodiversità Lichenica* e i progetti di rete nazionale e regionale, unitamente alla formazione organizzata in questo settore, rappresentano una validazione e una valorizzazione dello studio dell'ambiente attraverso tecniche di bioindicazione e biomonitoraggio.

E' grazie alla capacità professionale di alcuni operatori dell'Agenzia che è stato possibile raggiungere ottimi risultati a livello regionale (Gruppo di Bioindicazione), nazionale (Centro Tematico Nazionale-CTN – ACE-Atmosfera, Clima, Emissioni; task force Bioindicazione) e anche territorialmente più ristretto, sempre su temi di grande interesse e di indubbia rilevanza ambientale.

Un seguito adeguato, oltre che necessario, di tali premesse sta anche nella pubblicazione di questo studio sulla discarica del Cassero, nel comune di Pistoia, che ha, oltre agli altri, il pregio di rappresentare una delle rare applicazioni della bioindicazione impiegata per controllare le pressioni ambientali generate da una discarica di rifiuti.

L'importanza dei risultati dello studio sta non solo nella loro rilevanza tecnica e scientifica, ma anche nella loro utilità come strumento di lavoro adatto a mantenere sotto controllo l'area indagata, oltre che nella capacità di fornire interessanti spunti per la riflessione del decisore dell'azione politica e amministrativa.

Alessandro Lippi

Il biomonitoraggio permette di stimare gli effetti biologici dell'inquinamento atmosferico attraverso la produzione di dati biologici quali misure di biodiversità e di concentrazioni di elementi negli organismi. Data la sostanziale diversità delle informazioni, l'uso dei biomonitor non può essere certamente considerato alternativo al monitoraggio strumentale. I principali vantaggi che derivano, però, da tecniche di biomonitoraggio rispetto ai convenzionali metodi chimico-fisici sono rappresentati da:

- possibilità di ottenere rapidamente, a bassi costi e con un'elevata densità di punti di campionamento, una stima degli effetti biologici indotti su organismi sensibili dall'interazione di più sostanze nocive;
- individuazione rapida di zone con reale o potenziale rischio di superamento dei valori soglia stabiliti dalla legge per alcuni importanti inquinanti primari;
- valutazione dell'efficacia di misure adottate per la riduzione delle emissioni di inquinanti su lunghi periodi;
- localizzazione di aree potenzialmente a rischio e conseguente ubicazione ottimale delle stazioni automatiche di rilevamento;
- validazione di modelli di trasporto a lunga distanza e deposizione di inquinanti a diverse scale territoriali.

I licheni sono particolarmente sensibili agli stress ambientali, specialmente per quanto riguarda l'inquinamento, l'eutrofizzazione e i cambiamenti climatici. I primi studi sulla sensibilità dei licheni all'inquinamento atmosferico risalgono al secolo scorso e, attualmente, l'utilizzo dei licheni come biomonitor è diffuso in quasi tutte le aree europee e dell'America settentrionale; in molti paesi tale tecnica è ormai divenuta un'attività di routine. Nel biomonitoraggio dell'inquinamento atmosferico complessivo i licheni permettono di realizzare indagini scientificamente valide e complete. Essi possono infatti essere impiegati sia come bioindicatori che come bioaccumulatori.

La biodiversità dei licheni epifiti ha dimostrato di essere un eccellente bioindicatore dell'inquinamento atmosferico prodotto da sostanze gassose fitotossiche. Tale metodica è stata ampiamente adottata in Italia, sia su aree ristrette che a scala regionale, come nel caso della regione del Veneto, dove i dati hanno dimostrato un'alta predittività rispetto a misure strumentali di inquinamento e a dati epidemiologici, evidenziando una correlazione negativa tra biodiversità lichenica e mortalità dovuta a cancro polmonare. Va tuttavia osservato che se la scomparsa dei licheni rappresenta un chiaro segnale di rischio anche per la salute umana, l'abbondanza di questi organismi non porta automaticamente ad escludere la presenza di contaminanti, che potrebbero risultare tossici per l'uomo ma non per i licheni.

Sfruttando la nota capacità dei licheni di assorbire e accumulare ben oltre le loro necessità fisiologiche gli elementi in traccia presenti nell'atmosfera, questi organismi sono stati largamente impiegati nel monitoraggio di contaminanti persistenti quali metalli pesanti e radionuclidi. Le indagini sul bioaccumulo degli inquinanti atmosferici tramite licheni permettono di stimare la diffusione e i pattern di deposizione dei contaminanti e di risalire alle fonti di inquinamento.

Le ampie possibilità offerte da questo tipo di indagini e la flessibilità della metodologia, che permette di utilizzare sia specie presenti spontaneamente, cioè resistenti agli eventuali contaminanti fitotossici, sia trapianti di licheni raccolti in aree non contaminate, in assenza di flora lichenica spontanea, hanno fatto sì che anche in Italia siano state effettuate numerose indagini, soprattutto in aree industriali e urbane, ma anche naturali.

In Italia i primi studi di biomonitoraggio tramite licheni sono stati effettuati a partire dagli anni '80, con un ritardo di circa 10-15 anni rispetto ad altri paesi del nord e centro Europa. E' soltanto negli anni '90 che si è avuta una stretta collaborazione tra mondo universitario e Agenzie ambientali, appena "nate"; ciò ha portato, a partire dalla seconda metà degli anni '90, alla realizzazione di numerosi corsi di formazione e a una vera e propria adozione della metodica a livello nazionale. Negli ultimissimi anni la situazione si è ulteriormente evoluta e, grazie al lavoro di una commissione formata da rappresentanti di vari paesi europei, si è giunti all'adozione di un protocollo unico sovranazionale.

L'esperienza di monitoraggio biologico tramite licheni epifiti realizzata nell'area interessata dalla discarica del Cassero, a Pistoia, offre un raro esempio di un monitoraggio non solo spaziale, ma anche temporale, che tiene conto anche della situazione al cosiddetto "tempo zero", prima cioè che la discarica sia operativa. In questo modo è stato possibile valutare gli eventuali effetti determinati da circa cinque anni di funzionamento. Ovviamente, queste indagini di monitoraggio biologico non vogliono essere alternative al monitoraggio strumentale classico, ma hanno lo scopo principale di funzionare da "sentinelle ambientali", permettendo così di individuare gli eventuali segni di cambiamento che stanno intervenendo nell'ambiente.

Stefano Loppi

Introduzione

Negli ultimi anni, al tradizionale approccio chimico, fisico e batteriologico nella valutazione dell'impatto ambientale, si sono aggiunte nuove metodiche che utilizzano organismi viventi come bioindicatori: è in quest'ottica che abbiamo affrontato lo studio della discarica del Cassero.

La biondicazione si pone in una posizione complementare nei confronti degli studi strumentali tradizionali, permettendo di stimare gli effetti combinati di più inquinanti attraverso lo studio di deviazioni degli ecosistemi da condizioni normali.

Le comunità animali e vegetali rappresentano gli indicatori per eccellenza degli effetti prodotti dall'inquinamento sull'ambiente in cui vivono, e i metodi basati sul rilevamento della biodiversità e dei principali equilibri possono essere collocati a un livello prioritario.

Le tecniche di bioindicazione presentano, sicuramente, dei vantaggi ma anche alcuni limiti di cui dobbiamo tener conto quando andiamo a progettare uno studio dello stato di salute dell'ambiente.

I limiti più comuni sono rappresentati dal fatto che esse non sono applicabili ovunque: ad esempio, lo studio con i licheni è legato e condizionato dalla presenza degli alberi sul territorio. Nel caso della discarica del Cassero questo tipo di problema non si è presentato, dato che l'area interessata è ampiamente ricoperta da alberi.

Non esiste poi una relazione univoca fra danni subiti dall'ecosistema e concentrazioni dei singoli inquinanti, a causa degli effetti sinergici di più sostanze e per la concomitanza di altri fattori ecologici che condizionano la diffusione degli organismi sul territorio.

Non è possibile, nemmeno allo stato attuale, un'unica scala di interpretazione dei dati su tutto il territorio nazionale a causa dell'influenza del clima sulla biodiversità.

Sono presenti, a questo proposito, studi approfonditi per costruire indici unici che, se opportunamente integrati, potranno soddisfare quest'esigenza. Infine, non è possibile misurare fenomeni acuti perché, in certi casi, il monitoraggio può essere effettuato soltanto a distanza di tempo per avere un'apprezzabile reazione degli organismi. E' proprio per questo motivo che abbiamo effettuato lo studio della discarica del Cassero a quattro anni di distanza dal primo mappaggio, per poter valutare eventuali differenze rispetto al punto zero.

I principali vantaggi, invece, si ritrovano nella possibilità di ottenere rapi-

damente, e a bassi costi, una stima degli effetti biologici procurati da più inquinanti; nell'individuazione rapida di aree con potenziale superamento dei limiti soglia per alcuni inquinanti (per esempio metalli pesanti, ozono, ossidi di azoto, anidride solforosa ecc.); nella possibilità di una valutazione dell'efficacia delle misure adottate per la riduzione delle emissioni di inquinanti; e, ancora, nella verifica precisa e sicura dell'affidabilità di modelli diffusionali.

A sancire l'importanza della bioindicazione è intervenuta, da ultimo, l'emanazione del testo unico delle acque, il D.Lgs 152/99, che ha previsto che fossero effettuati, per legge, studi di bioindicazione sulla qualità dei corsi d'acqua mediante l'analisi della comunità di macroinvertebrati presente in quest'ambiente (metodo IBE).

Il mondo scientifico internazionale sente ormai, da diversi anni, la necessità di avere a disposizione diversi bioindicatori i quali, ciascuno con la propria sensibilità e nei vari ambiti di ricerca, possano fornire informazioni sempre più integrate e complete di quanto gli individui di una comunità si siano allontanati dalla "naturalità attesa" di un ecosistema. Per esempio, studiando l'indice di biodiversità lichenica (IBL) intorno alla discarica del Cassero, siamo stati in grado di valutare l'impatto ambientale e tenerlo sotto controllo nel tempo e nello spazio.

Adelmo Corsini

I LICHENI

I licheni fanno parte del mondo che ci circonda più di quanto ci si possa aspettare. Li ritroviamo sugli alberi (epifiti), sulle rocce (epilitici), sul terreno (epigei) e su vari manufatti: a ingiallire le tegole dei vecchi tetti, sui muri di cemento sotto forma di strisce gialle simili a pennellate di vernice, sui lastricati di arenaria e su i muri di pietra a formare macchie bianche, verdi e grigie.



Fig.1

I licheni sono il risultato dell'unione stabile tra due diversi organismi viventi, un fungo e un'alga, a costituire una "collaborazione", vantaggiosa per entrambi, denominata simbiosi. L'alga produce, tramite la fotosintesi, carboidrati ed altre sostanze da cui il fungo trae nutrimento, mentre riceve in cambio dal fungo protezione contro l'essiccamento e le radiazioni solari nocive.

I funghi che partecipano alla simbiosi lichenica appartengono in massima parte agli Ascomiceti, mentre ve ne sono alcuni appartenenti ai Basidiomiceti

e ai Ficomiceti; le alghe coinvolte sono per lo più Alghe verdi unicellulari (Chlorophyceae) o cianobatteri (Cyanophyta).

L'unione dei due partners porta alla formazione di un organismo, il lichene, con caratteristiche proprie: i licheni possiedono un proprio metabolismo che permette loro di produrre sostanze nuove che i due componenti isolati non saprebbero sintetizzare; la loro capacità di passare rapidamente dallo stato idratato allo stato disidratato li rende in grado di raggiungere una sorta di stato di quiescenza che facilita la sopravvivenza anche in difficili condizioni ambientali; grazie a queste caratteristiche i licheni possono colonizzare habitat improponibili ad altri organismi viventi.

Struttura

Il corpo vegetativo di un lichene è detto tallo ed è costituito dall'intreccio di ife fungine al cui interno sono distribuite le cellule algali. Il tallo lichenico può presentare due tipi di struttura:

- *Struttura omeomera*: ife fungine e alghe formano un intreccio omogeneo e indifferenziato
- *Struttura eteromera*: il tallo risulta stratificato in: cortex superiore, strato gonidiale (dove compaiono le alghe), medulla (costituita da ife fungine) e cortex inferiore.



Fig. 2 - *Struttura Omeomera*

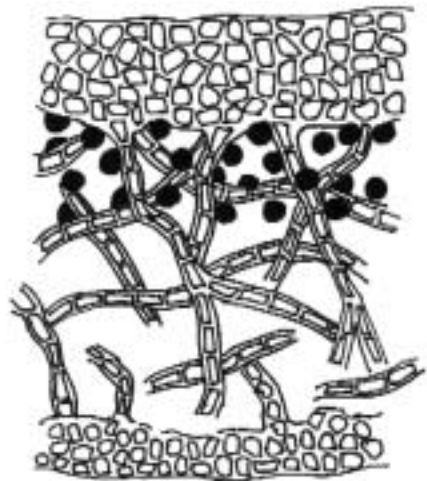


Fig. 3 - *Struttura Eteromera*

In base alla morfologia del tallo lichenico si possono distinguere tre forme di crescita principali:

licheni crostosi: il tallo è strettamente appressato al substrato ed assume l'aspetto di una crosta;



Fig. 4 - *Licheni crostosi*

licheni foliosi: il tallo è costituito da lobi più o meno paralleli al substrato, al quale aderiscono con strutture speciali dette rizine;



Fig. 5 - *Licheni foliosi*

licheni fruticosi: il tallo si sviluppa in tre dimensioni, assumendo forme a cespuglio, pendenti, ramificate ecc.



Fig. 6 - *Lichene fruticoso*

Riproduzione

I licheni presentano due tipi di riproduzione: sessuata o per via vegetativa.

La riproduzione sessuata interessa esclusivamente la componente fungina e avviene tramite la formazione di corpi fruttiferi, detti ascocarpi, all'interno dei quali si ha la produzione di spore. I corpi fruttiferi possono essere a forma di disco (apotecii) o a forma di fiaschetto infossato nel tallo (periteci). Le spore si formano in strutture sacciformi dette aschi e, una volta giunte a maturazione, sono disperse nell'ambiente. Raggiunto un substrato, esse devono entrare in contatto con alghe allo stato libero per germinare e dare origine a un nuovo lichene.



Fig. 7 - *Due tipi di apoteci*

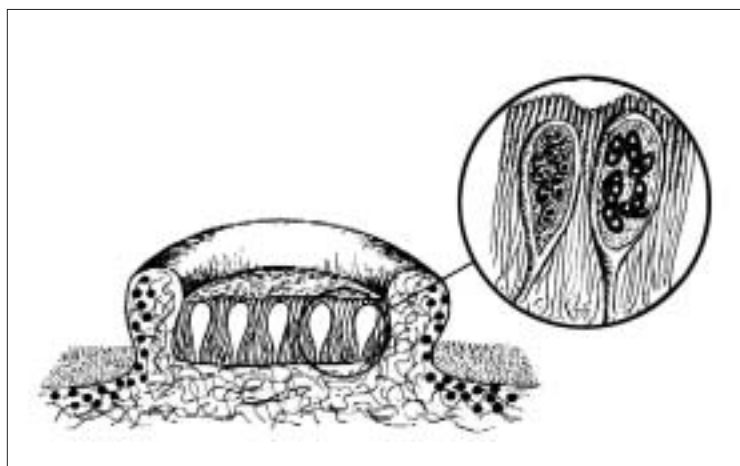
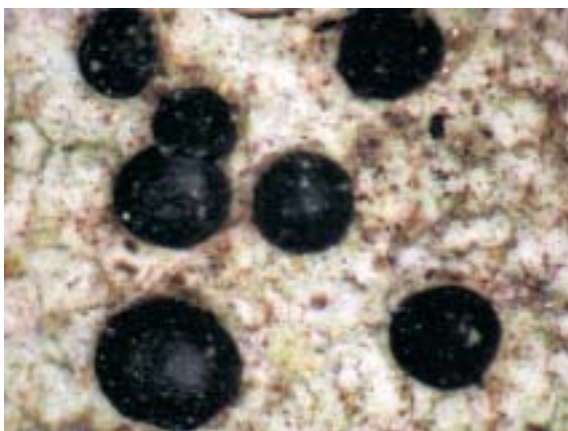


Fig. 8 - *Sezione di apotecio*

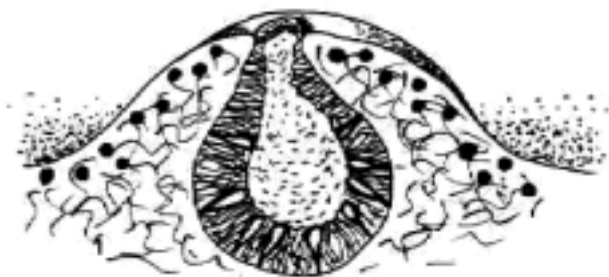


Fig. 9 - *Sezione di peritecio*



Fig. 10 - *Diversi tipi di spore*

La riproduzione vegetativa avviene per frammentazione, propagazione e germinazione di parte del tallo lichenico. Le strutture adibite a questo processo sono di due tipi: i soredi e gli isidi.

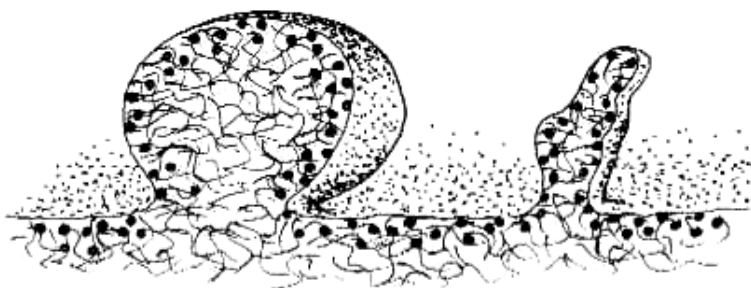
I soredi sono costituiti da ammassi di ife e di alghe che si formano dalla lacerazione della superficie del lichene. Hanno un aspetto polverulento o granuloso e in base alla loro disposizione sul tallo o alla loro forma sono distinti in: laminali, marginali, apicali, fessurali, labriformi, capitiformi ecc. La loro leggerezza permette la propagazione anche a notevoli distanze. Una volta trovato un nuovo substrato, l'insieme di alghe e ife può riprendere l'attività metabolica, generando un altro tallo.



Fig. 11 - *Soredi (marginali, labriformi, capitiformi)*

Gli isidi sono estroflessioni della cortex superiore contenenti ife fungine e alghe che assumono varie forme: cilindrica, globosa, coralloide, claviforme ecc. La rottura di un isidio e il suo trasporto su un substrato idoneo determina la nascita di un nuovo tallo lichenico. Generalmente gli isidi, essendo più pesanti dei soredi, sono responsabili della propagazione nelle immediate vicinanze del lichene di origine.

Fig. 12 - *Isidi (globosi e allungati)*



I licheni possiedono altre importanti strutture morfologiche che possono essere utili per il loro riconoscimento:

- Rizine: sono estroflessioni della cortex inferiore che hanno la funzione di ancorare il lichene al substrato. Possono essere semplici, con ramificazioni ad angolo retto o parallele all'asse principale della rizina.
- Pseudocifelle: sono perforazioni della cortex superiore. Possono essere puntiformi, lineari o reticolate.
- Ciglia: sono propaggini del tallo che si originano dal margine dei lobi.



Fig. 13 - *Pseudocifelle*



Fig. 14 - *Ciglia*

PERCHE' I LICHENI COME BIOINDICATORI

I licheni, ed in particolare i licheni epifiti, sono in grado di fornire ottime indicazioni sulla qualità dell'ambiente, in quanto possiedono notevoli caratteristiche che ne fanno dei buoni bioindicatori dell'inquinamento atmosferico:

- Il loro metabolismo dipende quasi esclusivamente dall'atmosfera in quanto traggono le sostanze necessarie alla loro vita dall'aria.
- La loro attività metabolica è continua nell'arco dell'anno: la resistenza agli stress ambientali naturali (siccità, basse temperature, etc.) consente ai licheni di avere un'attività fisiologica ininterrotta durante le quattro stagioni e specialmente nel periodo invernale quando la concentrazione di inquinanti atmosferici raggiunge, nelle aree urbane, i suoi massimi livelli.
- A differenza di come avviene nelle piante superiori, non hanno la possibilità di liberarsi delle parti vecchie o intossicate mediante meccanismi di escrezione attiva.
- Presentano lento accrescimento e grande longevità permettendo di monitorare l'evoluzione dell'inquinamento per lunghi periodi.
- Possiedono una notevole capacità di assorbimento e di accumulo di sostanze presenti in atmosfera e allo stesso tempo presentano elevata tolleranza nei confronti di alcuni inquinanti: grazie a questa caratteristica i licheni sono in grado di assorbire e trattenere al loro interno elevate concentrazioni di alcuni contaminanti (ad esempio metalli pesanti) senza subire alterazioni nel breve e medio termine.
- Sono sensibili agli agenti inquinanti come dimostrato da esperimenti di esposizione controllata a certe sostanze nocive.
- Le varie specie licheniche presentano una diversa sensibilità alle sostanze dannose.



Fig. 15 - *Licheni con alterazioni del tallo*

Numerosi studi hanno permesso di identificare i più evidenti tipi di risposta a situazioni di inquinamento. Le alterazioni si manifestano a livello fisiologico (depressione dell'attività fotosintetica algale, della respirazione cellulare e della fertilità), morfologico (scolorimento e modificazione della forma del tallo) ed ecologico. Quest'ultimo tipo di alterazione è quello più interessante ai fini del biomonitoraggio tramite licheni epifiti con i quali si indaga proprio sulle variazioni del numero totale di specie nel tempo, verificabile attraverso rilievi in anni successivi, e nello spazio, inteso come progressiva riduzione dei licheni avvicinandosi alla sorgente di inquinamento. La loro ricomparsa nel caso di un miglioramento della qualità dell'aria, avviene in tempi più lunghi per il caratteristico lento accrescimento che li contraddistingue.

I licheni possono essere impiegati per valutare la qualità dell'aria secondo due principali strategie:

- come Bioindicatori quando si correlano determinate intensità di disturbo ambientale a variazioni del loro aspetto esteriore, della loro copertura, della ricchezza floristica;
- come Bioaccumulatori, sfruttando la loro capacità di assorbire e accumulare i contaminanti presenti nell'atmosfera.

OBIETTIVO DELLA RICERCA

Poco prima dell'entrata in funzione della discarica del Cassero, nel 1996, è stato effettuato dai laboratori ARPAT uno studio multidisciplinare (biologico, chimico e fisico) in cui si è misurato, attraverso vari indicatori (tra i quali i licheni epifiti), la qualità di acqua, aria e suolo nel territorio su cui è stata costruita la discarica.

L'insieme delle misurazioni e la valutazione delle condizioni ambientali iniziali di un luogo scelto per costruirci un impianto (nel nostro caso una discarica, ma la metodologia è valida anche per inceneritori, autostrade, ferrovie, dighe ecc.) viene definita *valutazione del punto zero*.

Lo scopo del monitoraggio del 2000 è stato quello di individuare eventuali impatti sull'ambiente dopo 4 anni di funzionamento della Discarica. Si è ritenuto opportuno effettuare nuovamente lo studio di bioindicazione attraverso i licheni epifiti, che era stato eseguito nel 1996, per rilevare eventuali variazioni della qualità dell'aria nella zona adiacente all'impianto. L'importanza dell'applicazione di tale metodologia sta nel fornire un giudizio complessivo dell'ambiente circostante una potenziale sorgente di inquinamento. Mediante l'indagine di biomonitoraggio è stato possibile rilevare la presenza di alterazioni della qualità dell'aria dovute al funzionamento della discarica e alle attività di smaltimento rifiuti a essa connesse, come ad esempio: il sollevamento di polveri contenenti metalli pesanti, la produzione di aerosol contenenti vari tipi di sostanze volatili, l'aumento del traffico veicolare sulla strada che porta all'impianto ecc.

Caratteristiche del territorio

Dal punto di vista paesaggistico il territorio circostante la discarica del Cassero, è caratterizzato da coltivazioni di olivo, situate prevalentemente sui versanti collinari più soleggiati, e da boschi di pino nero, querce, robinia e castagno che si estendono dalla piana fino alle pendici del Monte Albano. Vivaismo e coltivazioni di mais e della vite appaiono solo in ristrette porzioni del territorio, soprattutto a est dell'area indagata.

L'urbanizzazione è assai scarsa e limitata a poche case isolate e borghi; i più vicini centri urbani sono Cantagrillo e Casalguidi, che distano dalla Discarica oltre un chilometro in direzione est. Le strade che percorrono il ter-

itorio in esame sono poche e con ridotto traffico veicolare, se si esclude il percorso di accesso alla Discarica. Appare evidente che le fonti di inquinamento atmosferico dell'area sono pressoché trascurabili.



Fig.16 - *Il biomonitoraggio attorno alla discarica del Cassero*

SCHEDA TECNICA - LA DISCARICA DEL CASSERO

La Discarica è localizzata sulle prime pendici della valle del Fosso del Cassero, situata ai piedi dei contrafforti collinari della dorsale del Monte Albano, che delimita verso Sud-Ovest la vasta pianura alluvionale di Pistoia, in Comune di Serravalle Pistoiese.

Il progetto generale della discarica del Cassero prevede la realizzazione di un bacino di stoccaggio di rifiuti speciali della capacità complessiva di circa 713.000 m³, oltre a circa 142.000 m³ di materiale di ricopertura; tali volumi verranno realizzati attrezzando una superficie impermeabilizzata di circa 90.000 m². Il progetto prevede la realizzazione di una zona di interrimento controllato ad anfiteatro delimitata inferiormente da un argine di fondo.

L'impianto è parte integrante del "Piano di organizzazione dei servizi di smaltimento dei rifiuti e dei fanghi del Bacino V", che riunisce i 22 Comuni della Provincia di Pistoia.

La discarica del Cassero è in grado di accettare i rifiuti conferibili in discariche di 2^a categoria di tipo B, ai sensi del punto 4.2.3.2 delle Disposizioni per la prima applicazione dell'art. 4 del D.P.R. 915/1982 (Delib. C.I. 27-07-1984).

I rifiuti speciali "non pericolosi" che possono essere smaltiti sono: scarti della lavorazione della carta, pneumatici usati, materiali da costruzione, scarti di lavorazione in plastica e metalli di piccole dimensioni, imballaggi in plastica, cartone e legno; prodotti tessili, ceneri da termodistruzione di rifiuti solidi urbani, terre di bonifica di siti inquinati ecc.

Il terreno su cui è realizzata la Discarica è naturalmente impermeabile e, per una maggiore sicurezza, il fondo è stato ulteriormente isolato attraverso la posa di argilla compatta per uno spessore di un metro e la stesura di una membrana in polietilene ad alta densità (PEAD) opportunamente protetta con geotessuti, pneumatici, sabbia e ghiaia.

Un sistema di tubazioni, collocate all'interno dello strato drenante di ghiaia, consente la raccolta del percolato, convogliato verso pozzi di estrazione realizzati all'interno della Discarica. Da qui viene pompato in una vasca di stoccaggio, esterna alla Discarica stessa, da dove viene prelevato e inviato agli impianti di depurazione.

Per accrescere il livello di sicurezza e rilevare eventuali migrazioni sotterranee di agenti inquinanti è stato realizzato, sotto il manto impermeabile, un

sistema di drenaggio delle acque sotterranee che vengono convogliate verso un pozzetto di raccolta. Inoltre, per il controllo della falda nei dintorni dell'impianto, sono stati realizzati altri pozzetti di raccolta dai quali vengono periodicamente prelevati campioni d'acqua da sottoporre ad analisi di laboratorio.



Fig.17 – *La discarica del Cassero*

METODOLOGIA E RISULTATI

Il metodo della biodiversità lichenica

Negli ultimi anni le strategie di campionamento, essendo il monitoraggio mediante licheni epifiti una disciplina abbastanza recente, sono state suscettibili di continui aggiornamenti tesi a costruire una metodica standardizzata e applicabile alle diverse realtà bioclimatiche del territorio.

La prima campagna di monitoraggio è stata effettuata nel 1996 (appena prima che l'impianto entrasse in funzione); essendo lo scopo monitorare l'ambiente nei dintorni della Discarica, si è ritenuto sufficiente, per il monitoraggio del 1996, compiere le indagini su una superficie di circa 9 Km².

I rilevamenti sono stati effettuati utilizzando il metodo preferenziale, che prevede il campionamento di alberi scelti liberamente sul territorio circostante l'impianto in base alla loro maggiore copertura lichenica.

Per il monitoraggio del 2000 (in conseguenza del workshop di Roma del 1998, *Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale* e della successiva pubblicazione delle linee-guida sull'impiego dei licheni come bioindicatori) è stato utilizzato un metodo di rilevamento differente rispetto al 1996, che tuttavia non ha inciso sulla confrontabilità dei dati ottenuti. Si è ritenuto opportuno effettuare lo studio su un'area di 9 Km², centrata sull'oggetto d'indagine, nella quale è stata costruita una griglia di ricerca di 500 m di lato. Sono state così individuate un totale di 36 stazioni in ciascuna delle quali scegliere tre alberi idonei al rilevamento. Nel nostro caso sono stati preferiti, data la loro diffusione nel territorio d'indagine, alberi appartenenti al genere *Quercus* e, soltanto in una stazione, è stato necessario utilizzare, per il mancato rinvenimento delle essenze precedentemente menzionate, il castagno (*Castanea sativa*).

In quattro stazioni non è stato possibile effettuare i rilievi per assenza di alberi idonei, tuttavia ciò non ha compromesso l'omogenea elaborazione dei dati.

La metodologia per il monitoraggio atmosferico con i licheni epifiti è basata sulla misura della biodiversità lichenica (BL), ossia sulla somma delle frequenze delle specie presenti all'interno di un reticolo di rilevamento. Tale reticolo, suddiviso in 10 maglie di 10x15 cm ciascuna, viene posto sul tronco principale dell'albero. La biodiversità lichenica di una stazione (BLs) è la media aritmetica dei valori di biodiversità lichenica dei singoli alberi (BLr).

I valori di biodiversità riflettono l'allontanamento, causato dagli inquinanti, rispetto alla ricchezza floristica che ci si attenderebbe di trovare in quell'ambiente senza l'azione di nessun agente inquinante (naturalità attesa).



Fig.18 - *Il Rilevamento della biodiversità lichenica*

Al fine di una migliore interpretazione dei risultati viene effettuata un'elaborazione cartografica (programma di cartografia computerizzata Surfer Golden Colorado Inc.) che mostri una suddivisione del territorio in esame in aree dove a ogni classe di naturalità/alterazione viene associato un colore. La tabella seguente mostra la scala di valori di BL che è stata utilizzata per il nostro studio.

VALORE DI BLS	GIUDIZIO	COLORE
MAGGIORE DI 75	NATURALITÀ MOLTO ALTA	BLU
50 - 75	NATURALITÀ MEDIA	VERDE
25 - 50	ALTERAZIONE MEDIA	GIALLO
0 - 25	ALTERAZIONE ALTA	ROSSO

Tab.1 - *Scala di biodiversità lichenica*

Risultati

I risultati ottenuti dall'indagine del 1996 sulla discarica del Cassero attraverso il metodo della biodiversità lichenica sono riportati in Fig.19. Le alterazioni più evidenti si trovano nella parte destra in basso della carta (area colorata di rosso) in prossimità dell'abitato di Cantagrillo. Le aree colorate in giallo indicano una media alterazione e si estendono in corrispondenza della zona pianeggiante, con propaggini dirette verso le pendici del Monte Albano. Il resto della carta appare con alterazione scarsa (verde). L'area circostante la discarica presenta buone condizioni di naturalità. La seppur bassa alterazione del territorio nei dintorni della Discarica non è da attribuire a fenomeni di inquinazione localizzati nell'area d'indagine, che come detto precedentemente non presenta rilevanti fonti di inquinamento, ma la causa è da ricondurre piuttosto a fattori esterni all'area di studio. Generalmente, le principali fonti di gas fitotossici sono riconducibili agli scarichi dovuti all'intenso traffico veicolare, ai combustibili utilizzati per il riscaldamento domestico e alle emissioni nocive dei complessi industriali situati nella piana, tutti caratteri tipici di aree altamente urbanizzate. Una possibile spiegazione dell'assenza di una comunità lichenica tipica in una zona ad alta vocazione, può essere quindi ricondotta all'effetto dei venti dominanti provenienti da Nord-Est, che spingono le masse d'aria dalla pianura pistoiese verso le colline del Monte Albano.

La seconda ispezione è stata effettuata a quattro anni di distanza (2000). Si è voluto così verificare la risposta della comunità lichenica agli stimoli ambientali, apprezzabili, proprio per la lenta risposta della comunità lichenica agli inquinanti, solo se monitorati a distanza di qualche anno tra un rilievo e l'altro.

E' opportuno premettere che le due aree indagate non sono esattamente

sovrapponibili: infatti, nel monitoraggio del 2000 si è estesa l'indagine verso Est, riducendola invece a Nord, in maniera da avere la Discarica in posizione centrale. I risultati ottenuti sono presentati in Tab. 2 e in Fig. 20.

Dall'osservazione della mappa del 2000 appare evidente il generale miglioramento della qualità dell'aria. In nessuna delle stazioni è stato riscontrato un forte allontanamento dalla naturalità attesa (rosso) mentre l'area verde, che indica bassa alterazione, si è estesa notevolmente a spese dell'area gialla (media alterazione).

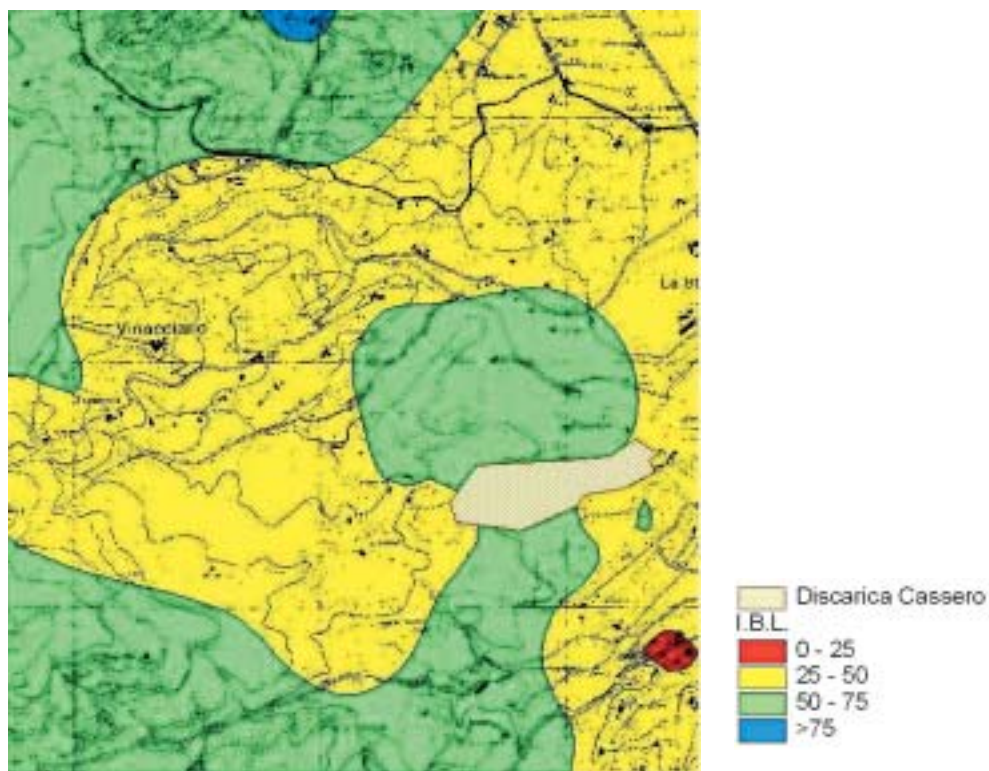


Fig. 19 - *Rilevamento dell'indice di biodiversità lichenica - Anno 1996*

Dall'esame dei risultati ottenuti con le indagini utilizzando l'indice di biodiversità lichenica emerge che lo smaltimento dei rifiuti nella discarica del Cassero non ha avuto effetto negativo sulla naturalità/alterazione dell'ambiente circostante, mentre si evidenzia un'evoluzione in senso positivo della qualità atmosferica. Il miglioramento della qualità dell'aria riscontrato nel

biomonitoraggio del 2000 si inserisce nel trend già rilevato in diversi altri lavori di biomonitoraggio lichenico anche a livello internazionale.

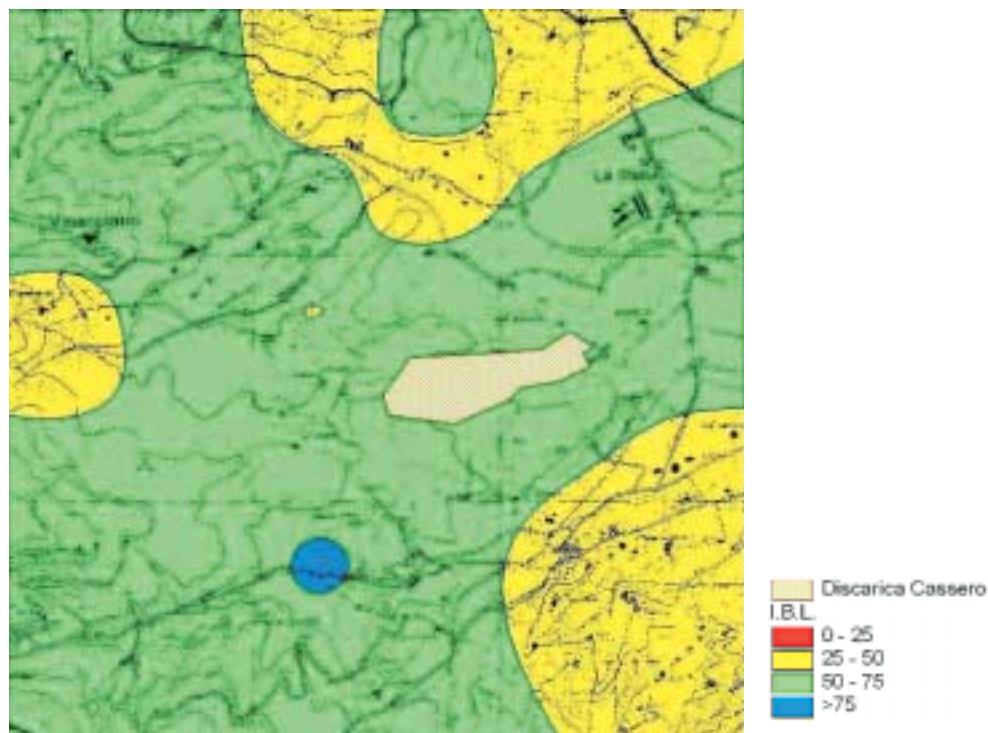


Fig. 20 - Rilevamento dell'indice di biodiversità lichenica - Anno 2000

Negli ultimi anni il crescente utilizzo di combustibili a minore impatto ambientale ha determinato una riduzione del rilascio nell'ambiente di sostanze nocive come piombo, ossidi di zolfo, ossidi di azoto. Infatti, da un consumo di nafta, cherosene, benzina al piombo, si è passati a un maggiore utilizzo di benzina verde (senza piombo) e metano.

Ad aumentare notevolmente la qualità dell'aria ha contribuito anche una minore libertà concessa alle industrie in termini di emissioni di inquinanti, intesa non tanto come promulgazione di nuove leggi in materia (la normativa cardine sulle emissioni è ancora la 203/88), quanto come una più radicale applicazione delle medesime.

Tab. 2 – *Valori BL e specie licheniche riscontrate nelle stazioni di campionamento*
– Anno 2000

Il metodo dei licheni come bioaccumulatori

Sfruttando la proprietà dei licheni di assorbire e trattenere i contaminanti presenti nell'atmosfera, è possibile studiare il bioaccumulo di varie sostanze (metalli pesanti, idrocarburi clorurati, radionuclidi ecc.) all'interno dei talli lichenici per quantificarne la concentrazione. Per gli scopi della presente indagine abbiamo ritenuto interessante valutare la presenza di alcuni elementi come Cromo, Rame, Piombo e Zinco.

La metodologia si basa sulla raccolta di talli lichenici appartenenti alla stessa specie e sulla determinazione delle sostanze in esame attraverso tecniche di gascromatografia, spettrofotometria ecc.

Durante le due campagne di monitoraggio (1996 e 2000), in ciascuna delle stazioni utilizzate per il rilevamento della biodiversità lichenica sono stati prelevati talli del lichene folioso *Parmelia caperata* per determinare la concentrazione dei metalli pesanti; i campioni del suddetto lichene sono stati prelevati dagli stessi alberi utilizzati per la determinazione della biodiversità lichenica.



Fig. 21 - *Parmelia caperata*

I campioni raccolti sono stati essiccati e ripuliti; per le analisi è stata utilizzata la porzione esterna del tallo corrispondente all'ultimo periodo di crescita, per l'accumulo dei metalli pesanti.

Si è passati poi alla macinazione e mineralizzazione del materiale con HNO_3 . Le concentrazioni dei metalli pesanti sono state determinate tramite spettrofotometria ad assorbimento atomico ad effetto Zeeman (per Cromo, Rame e Piombo) e a fiamma (per lo Zinco) e sono state espresse in base al peso secco del campione. Successivamente per ogni metallo sono state riportate, mediante programmi di cartografia computerizzata (Surfer), le concentrazioni su carte colorate, al fine di ottenere la visualizzazione di zone a diversa concentrazione del metallo considerato.

Risultati

I risultati dell'analisi spettrofotometrica dei metalli (Pb, Cu, Cr e Zn), riferita alle concentrazioni nei talli lichenici, sono stati elaborati utilizzando il programma di cartografia computerizzata già menzionato che permette di rappresentare fasce di inquinamento evidenziate in colori diversi. Tale rappresentazione si è rivelata particolarmente adatta per confrontare, metallo per metallo, i risultati relativi ai due diversi anni di indagine.

Piombo

Le cartine rappresentate in Fig. 22 mostrano le concentrazioni del Pb rinvenute nei talli lichenici nel 1996 e nel 2000. Si può notare che nel 2000 si ha una diminuzione ben apprezzabile delle concentrazioni di Piombo; tali concentrazioni si riducono praticamente della metà passando da valori di picchi dell'ordine di 40 ppm a valori di 15 ppm (o da una media di valori dell'ordine di 13 ppm a 6 ppm).

Poiché la fonte principale di Piombo è la combustione degli additivi anti-detonanti della benzina, la riduzione delle concentrazioni di questo metallo è certamente riconducibile all'impiego di benzine "verdi" che si è diffuso negli ultimi anni. Inoltre tale dato conferma e supporta l'aumento di *naturalità* riscontrato attraverso l'indice di biodiversità lichenica.

Rame e Cromo

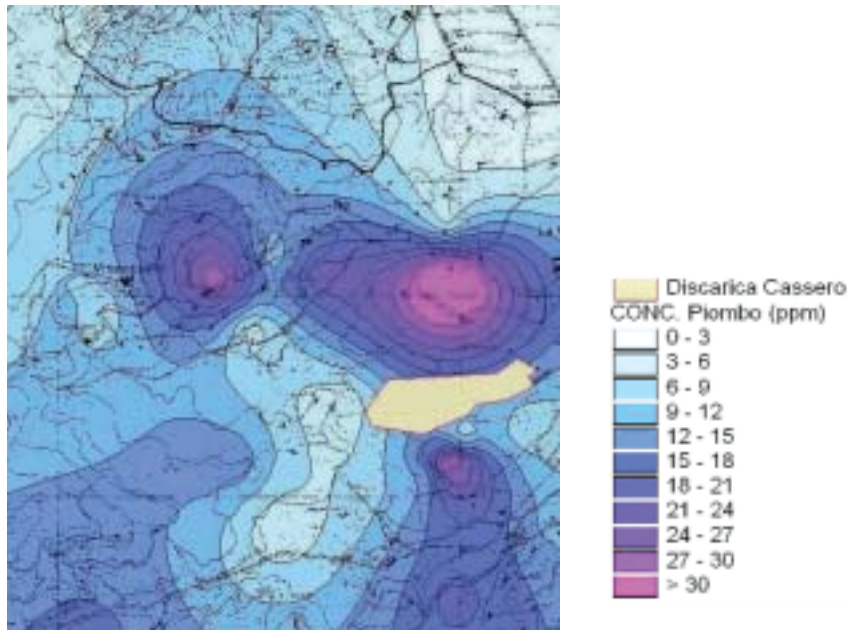
Gli andamenti delle concentrazioni di Rame e Cromo nei due anni di indagine sono riportati rispettivamente nelle Figg. 23 e 24. Come per il Piombo, anche nel caso di questi due metalli si apprezza un miglioramento, per quanto meno significativo, che si manifesta con una generale omogeneizzazione dei valori verso il basso. Per quanto riguarda il Cromo le differenze tra i due mappaggi sono dovute essenzialmente a un punto di picco presente nel 1996, mentre la media dei valori rimane pressochè invariata.

La diminuzione della contaminazione da Rame (riscontrata sia a livello di picchi che alle medie dei valori) è presumibilmente dovuta alla cessazione negli ultimi anni di alcune attività per la lavorazione di metalli (aziende metalmeccaniche) che erano presenti nella zona.

Zinco

In Fig. 25 sono mostrati i risultati relativi all'analisi dello Zinco. Da tali mappe appare di nuovo una generale diminuzione del metallo considerato; tale miglioramento non riveste tuttavia grande importanza, dal momento che in entrambe le situazioni (1996 e 2000) le concentrazioni di Zinco si aggirano attorno ai valori di background naturale riscontrato nei talli lichenici (50 ppm circa).

1996



2000

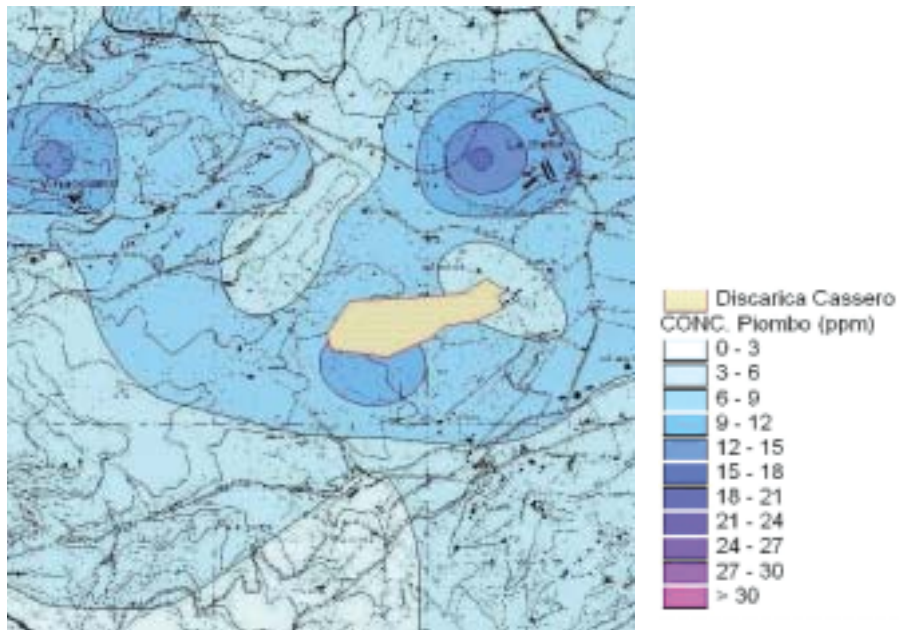
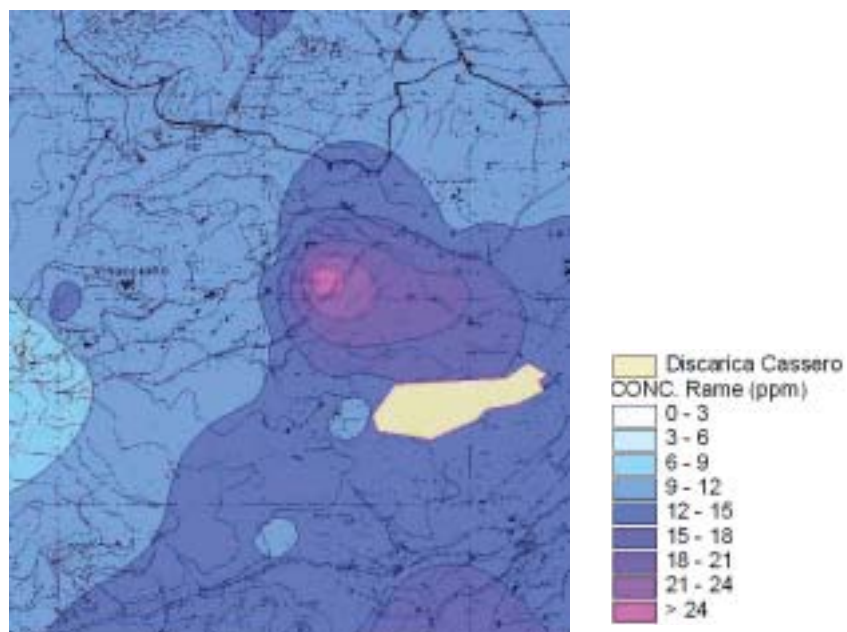


Fig. 22 - Risultati delle indagini di bioaccumulo del **Piombo** relative agli anni 1996 e 2000.

1996



2000

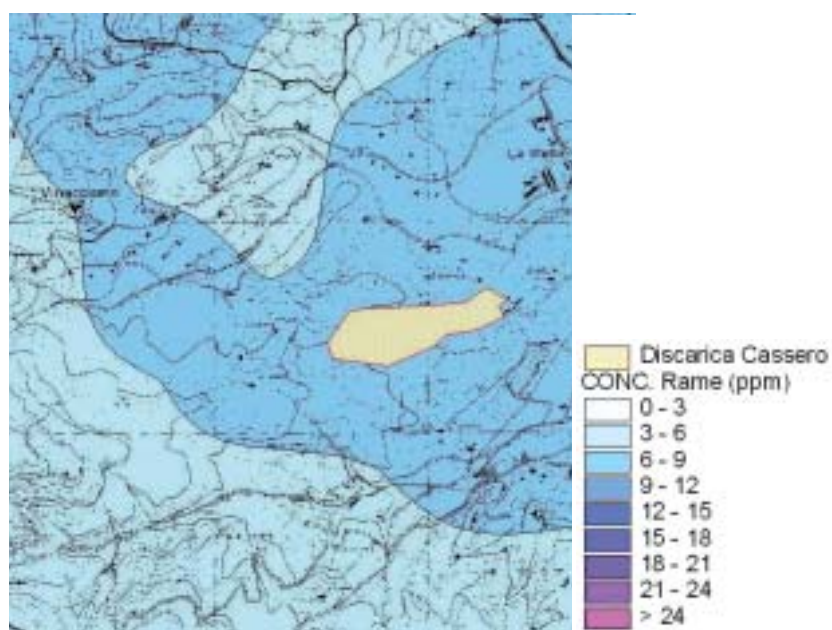
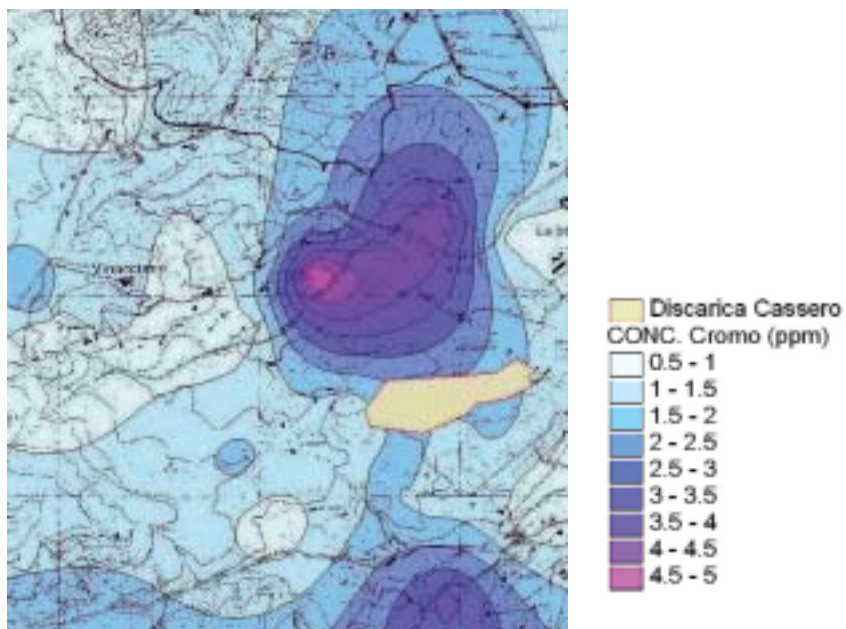


Fig. 23 - Risultati delle indagini di bioaccumulo del **Rame** relative agli anni 1996 e 2000.

1996



2000

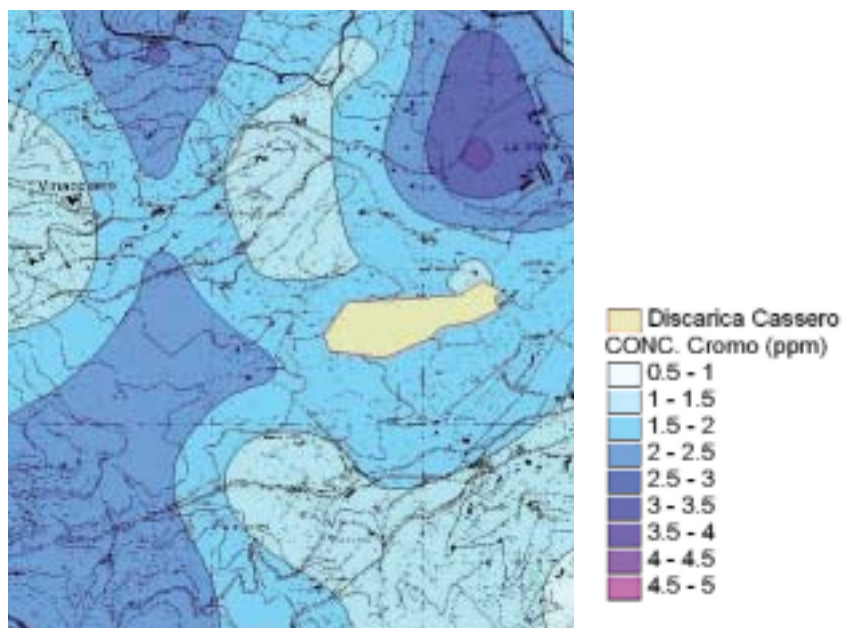
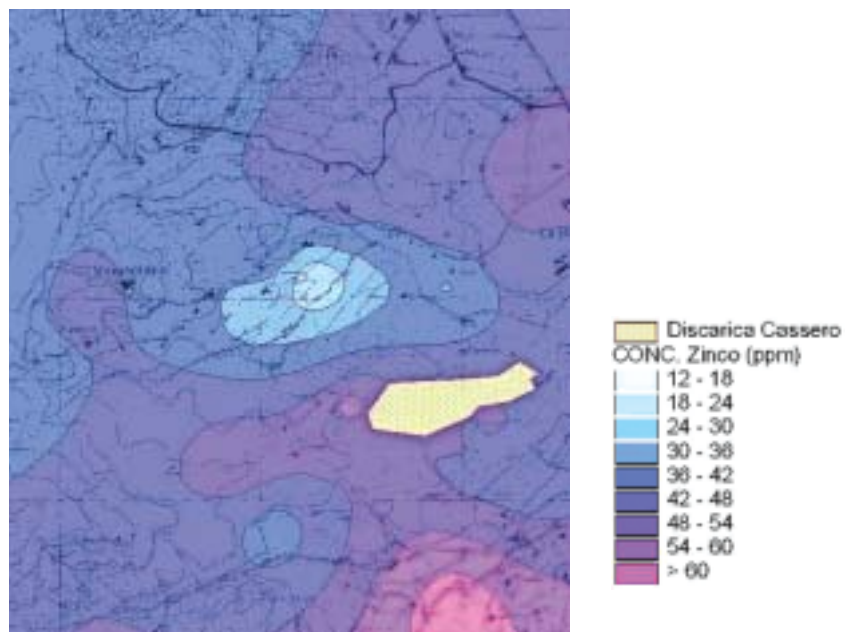


Fig. 24 - Risultati delle indagini di bioaccumulo del **Cromo** relative agli anni 1996 e 2000.

1996



2000

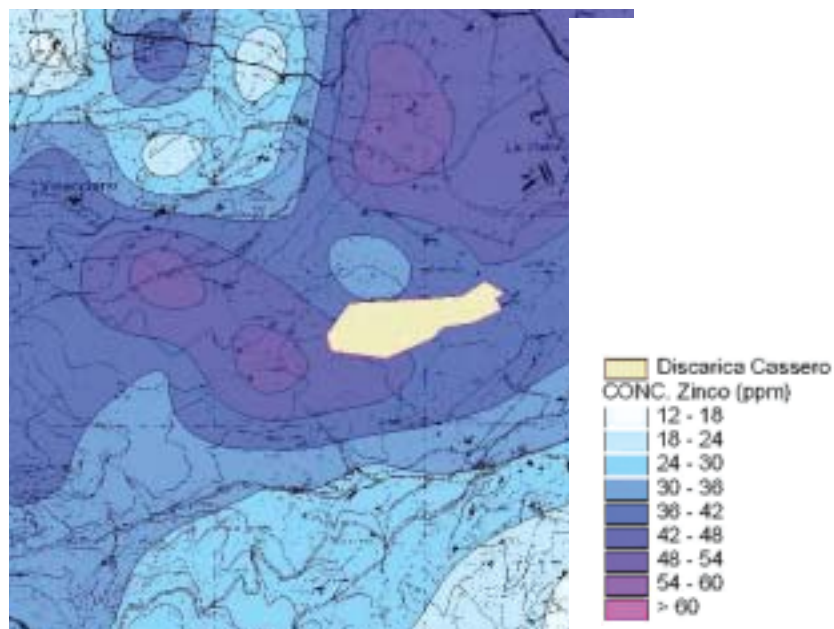


Fig. 25 - Risultati delle indagini di bioaccumulo dello **Zinco** relative agli anni 1996 e 2000.

Gli indici ecologici: ulteriori informazioni dai licheni

Ulteriori ed interessanti informazioni possono essere ricavate elaborando i dati ottenuti con la bioindicazione in maniera da ottenere, per ogni stazione, delle espressioni numeriche dell'ampiezza ecologica della comunità lichenica dette *indici ecologici*.

La metodologia prende in considerazione i fattori ambientali che influiscono sulla presenza/assenza dei licheni. Infatti, non tutti i licheni manifestano una medesima tolleranza a determinati fattori chimico-fisici (pH del substrato, luminosità, umidità ecc.); alcune specie presentano un ampio spettro ecologico, mentre altre riescono a sopravvivere solamente in condizioni ben definite. La presenza in un'area di certe specie invece di altre può essere quindi un utile indizio sulla predominanza di qualche fattore ecologico che ha favorito la presenza di quella comunità lichenica.

Per la nostra indagine si è ritenuto opportuno applicare questo tipo di valutazione relativamente alla *eutrofizzazione*. E' noto infatti che questo tipo di fenomeno, dato dall'arricchimento in atmosfera di elementi come fosforo e azoto, si può verificare anche in corrispondenza di accumuli di materiali di rifiuto. Il calcolo dell'indice ecologico di ciascuna stazione e la successiva rappresentazione cartografica rappresentano perciò strumenti utili alla localizzazione di eventuali fonti di arricchimento di nutrienti.

Il fenomeno relativo alla eutrofizzazione, calcolato in base agli indici ecologici, può essere ricondotto a 5 stati:

- 1) nessuna eutrofizzazione
- 2) eutrofizzazione molto debole
- 3) eutrofizzazione debole
- 4) eutrofizzazione relativamente alta
- 5) eutrofizzazione molto alta.

La mappa riportata di seguito mostra i risultati di tale applicazione.

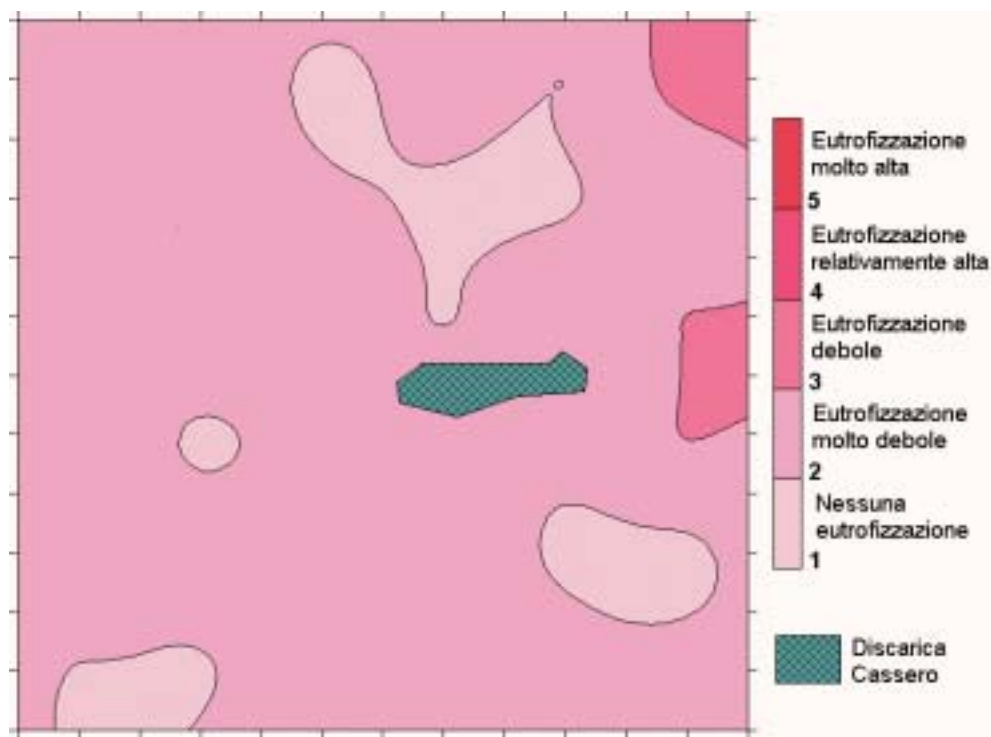


Fig. 26 - *Carta relativa all'eutrofizzazione ottenuta con gli indici ecologici.*

Dall'osservazione della carta emerge che il grado di eutrofizzazione dell'area in esame varia dal nullo al molto debole. Tracce di eutrofizzazione leggermente più alte appaiono nella zona in alto a destra dove sono localizzate le uniche colture vivaistiche dell'area. I fenomeni di eutrofizzazione sono infatti tipici delle aree ad agricoltura intensiva e sono dovuti all'uso di sostanze fertilizzanti. L'aria si arricchisce così di nutrienti che favoriscono la crescita e la diffusione delle specie licheniche eutrofiche a scapito di altre.

CONSIDERAZIONI

In conclusione, i risultati emersi dalla presente indagine inducono alle seguenti considerazioni:

1. Per un'indagine di questo tipo il metodo dei licheni come indicatori biologici si è dimostrato uno strumento di indagine particolarmente adatto in quanto i licheni, il cui tasso di crescita è molto lento, riflettono con elevato grado di precisione l'inquinamento medio di diversi anni a cui una certa area è sottoposta.
2. I due metodi di analisi utilizzati, licheni come bioindicatori e licheni come bioaccumulatori, forniscono informazioni concordi e complementari: mostrano cioè un'apprezzabile diminuzione degli inquinanti dal 1996 ad oggi.
3. Data la precedente considerazione, si può affermare che, relativamente agli studi effettuati, l'impianto in esame non ha causato un'alterazione della qualità dell'aria durante i suoi cinque anni di funzionamento.

Il biomonitoraggio lichenico si è rivelato un utile strumento di indagine preliminare visti i costi contenuti e l'immediata disponibilità di dati. La metodologia non si propone di sostituire i tradizionali approcci chimici analitici, ma si pone come obiettivo quello di compiere un'indagine preliminare. Se dai risultati emergesse una situazione di alterazione, lo studio sarebbe approfondito con ulteriori indagini chimico-fisiche volte a quantificare il grado di inquinamento per poter risalire alla fonte che li ha provocati. Visto che dal presente studio non sono emersi elementi negativi, si può ritenere sufficiente il livello analitico raggiunto.

Bibliografia

Ammann, K., Herzig, R., Liebendorfer, L. & Urech, M. (1987). *Multivariate correlation of deposition data of 8 different air pollutants to lichen data in a small town in Switzerland*. In: *Advances in Aerobiology*. pp. 401-406. Birkhäuser. Basel.

Cerutti A. *et al.* (1997). *La qualità dell'aria a Montecatini Terme*. Comune di Montecatini Terme - ARPAT.

Clauzade G., Roux C. (1985). *Likenoj de Okcidenta Europo. Illustrita determinlibro*. Bulletin de la Société Botanique du centre-ouest, Nouvelle série Numéro Spécial: 7-1985, (Saint-Sulpice de Royan - 17200 Royan, France).

Dietrich P. (1984). *Les lichens épiphytiques et leurs champignons lichénicoles (macrolichenes exceptés) du Luxembourg*. Musée National d'Histoire Naturelle (Marché aux Poissons L 2345 Luxembourg).

Dobson F.S. *Lichens. An illustrated guide to the British and Irish species*. The Richmond Publishing co. Ltd (P.O. box 963, Slough, SL2 3RS, England).

Loppi S. (1996). *Lichens as bioindicators of geothermal air pollution in Central Italy*. The Bryologist, 99, 1: 41-48.

Loppi S., Nelli L., Ancora S., Bargagli R. (1997d). *Accumulation of trace elements in the peripheral and central parts of foliose lichen tallus*. Bryologist, 100: 251-253

Loppi S., Pacioni G., Olivieri N., Di Giacomo F. (1998). *Accumulation of trace metals in the lichen Evernia prunastri transplanted at biomonitoring sites in central Italy*. Bryologist, 101: 451-454.

Loppi S., Giovannelli L., Franchi F.C. *et al.* (1996). *Bioindicazione della qualità dell'aria tramite licheni: esperienze in Toscana*. Acqua aria n° 7/8.

Loppi S., Corsini A., Bruscoli C., Rossetti C. (1995). *Lichens biomonitoring of heavy metals in Montecatini Terme (central northern Italy)*. Micologia e Vegetazione Mediterranea, 10: 122-128.

Kirschbaum U., Wirth V. (1995). *Flechten erkennen. Luftgüte bestimmen*. Eugen Ulmer GmbH & Co. (wollgrasweg 41, 70599, Stuttgart).

Lorenzini G. (1999). *Piante vascolari come bioindicatori della qualità dell'aria (inquinamento da ozono): proposte metodologiche*. Atti Workshop, Roma 26-27 novembre 1998. ANPA

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

Nimis P.L.(1993). *The lichens of Italy. An annotated catalogue*. Museo Regionale di Scienze Naturali (via Giolitti 36, 10123 Torino).

Nimis P.L. (1987). *I macrolicheni d'Italia. Chiavi analitiche per la determinazione*

Nimis P.L.(1992). *Chiavi analitiche del genere Caloplaca in Italia*.

Nimis P.L., Bolognini G. (1993). *Chiavi analitiche del genere Lecanora in Italia*.

Nimis P.L., Bargagli R. (1999). *Linee guida per l'utilizzo dei licheni epifiti come bioaccumulatori di metalli in traccia*. Atti Workshop, Roma 26-27 novembre 1998. ANPA

Nimis P.L. (1999). *Linee guida per la bioindicazione degli effetti dell'inquinamento tramite la biodiversità dei licheni epifiti*. Atti Workshop, Roma 26-27 novembre 1998. ANPA

Nimis P.L. (1992). *Lista rossa dei Licheni d'Italia*. In: Libro rosso delle Piante d'Italia. WWF. Roma, 501-556.

Nimis P.L., Castello M., Perotti M. (1990). *Lichens as biomonitors of sulphur dioxide pollution in La Spezia (Northern Italy)*. Lichenologist, 22: 333-344.

Piccini C., Salvati S. (1999). *Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio nazionale* Atti Workshop, Roma 26-27 novembre 1998. ANPA

Pieralli P., Trequandi S. (1991). *I licheni. Guide all'aria pura*. Editoriale Tosca (via dei Castellani 8, Firenze, tel. 055/280560).

Purvis W., Coppins B.J., Hawksworth D.L., James P.W., Moore D.M. (1992). *The lichen flora of Great Britain and Ireland*. Natural History Museum Publications.1998.

Purvis W. (2000). *Lichens*. The Natural History Museum. London.

Rose C. I. & Hawksworth D. L. (1981). *Lichen recolonization in London's cleaner air*. Nature, 289: 289-292.

Seaward M.R.D. (1997). *Urban deserts bloom: a lichen renaissance*. Bibliotheca Lichenologica 67, 297-309.

Van Dobben H.F. & De Bakker A.J. (1996). *Re-mapping epiphytic lichen biodiversity in the Netherlands: effects of decreasing SO₂ and increasing NH₃*. - Acta Botanica Neerlandica, 45: 55-71.

Wirth V.(1997). *Die flechten* (voll. 1 e 2). Eugen Ulmer GmbH & Co. (Wollgrasweg 41, 70599, Stuttgart).



ARPAT

Agenzia regionale per la protezione ambientale della Toscana

Via Nicola Porpora, 22 - 50144 Firenze