



## “Caratteristiche dei licheni”

*a cura di Daniela Novel*

### L'INQUINAMENTO ATMOSFERICO

Può essere definito come “l'introduzione nell'atmosfera di sostanze che possono avere un'azione nociva per gli ecosistemi terrestri e acquatici, la salute dell'uomo, i beni materiali e le opere d'arte”. Inteso in questo senso tale inquinamento presenta sia una componente naturale (es. emissioni vulcaniche) sia una componente legata alle diverse attività antropiche.

Le sostanze inquinanti immesse nell'atmosfera sono numerosissime e ogni anno ne vengono sintetizzate di nuove dalle attività umane. In base alla loro concentrazione nell'aria e alla loro diffusione nelle aree più antropizzate, tali inquinanti possono essere distinti in primari, generati direttamente dalle attività umane, e secondari, che si formano nell'atmosfera dall'interazione tra i primari e i componenti stessi dell'atmosfera.

Gli inquinanti primari sono:

- 1 – CO (monossido di carbonio)
- 2 – NO<sub>x</sub> (ossidi di azoto)
- 3 – SO<sub>x</sub> (ossidi di zolfo)
- 4 – C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> (idrocarburi)
- 5 – polveri sottili (particelle sospese)

Per queste sostanze esistono norme che ne fissano i limiti di accettabilità e stabiliscono gli standard di “qualità dell'aria” per i valori di concentrazione sull'arco di un intero anno di riferimento.

Per quanto riguarda le fonti di emissione, quelle di tipo antropico sono riconducibili ai seguenti cinque settori di attività:

- ◆ trasporti
- ◆ centrali termoelettriche
- ◆ industria
- ◆ domestico e terziario
- ◆ agricoltura e pesca

Si possono distinguere tra fonti di emissione diffuse (trasporti, domestico e terziario, agricoltura e pesca) con scarico ad altezza più o meno bassa, e fonti di emissioni concentrate (industrie e centrali termoelettriche) con scarico ad altezza elevata.

Le fonti diffuse hanno un ruolo predominante nelle emissioni di monossido di carbonio e di idrocarburi, e prevalente in quelle di ossidi di azoto e di particelle sospese, mentre le industrie e le centrali termoelettriche sono le principali responsabili delle emissioni di ossidi di zolfo e particelle sospese.

Una volta emesse nell'atmosfera, le sostanze inquinanti vengono trasportate dalle correnti d'aria a quote diverse per tempi e distanze ampiamente variabili. Una parte viene depositata, tale quale, entro una distanza compresa tra poche decine di metri e alcuni chilometri, il resto cade a distanze maggiori, fino a 1000 o più km, dopo aver subito diverse trasformazioni chimiche (principalmente fenomeni di ossidazione e fotolisi).

#### **L'inquinamento atmosferico nei centri urbani.**

I maggiori responsabili dell'inquinamento atmosferico che colpisce le città sono il traffico veicolare e il riscaldamento domestico. Soprattutto gli autoveicoli, a causa dell'altezza delle loro emissioni, della prevalenza di strade strette e dell'alta densità del traffico, giocano un ruolo centrale nello stato

di insalubrità dell'aria delle grandi città. Non sono pochi, comunque, i centri urbani in cui rilevanti o predominanti sono le emissioni legate alle attività industriali o energetiche.

In condizioni normali, gli inquinanti si disperdono molto lentamente. Inoltre, specie nel periodo invernale, si verificano spesso fenomeni di inversione termica che, favorendo la stratificazione dell'aria fredda al suolo, ostacolano la diluizione dei gas tossici e i fenomeni diffusivi di trasporto.

Nei centri urbani l'inquinamento atmosferico è caratterizzato da fluttuazioni sia stagionali che giornaliere, derivando gli ossidi di zolfo principalmente dal riscaldamento degli edifici, gli ossidi d'azoto e il monossido di carbonio dal traffico veicolare.

## GLI INQUINANTI PRIMARI

**Monossido di carbonio.** E' prodotto da numerosi processi sia geofisici (attività vulcaniche, emissioni gassose, scariche elettriche durante i temporali) che biologici (germinazione dei semi e sviluppo delle piante), di limitata importanza nelle aree urbane.

L'apporto dovuto alle attività umane, invece, è tutt'altro che trascurabile, connesso a vari processi di combustione. Una delle principali sorgenti sono i motori a scoppio, ma viene liberato anche da alcune industrie come le acciaierie e dalle centrali termoelettriche. Gli effetti indotti sulla vegetazione sono trascurabili, mentre sull'uomo e su gran parte degli animali possono essere gravi. Assorbita a livello polmonare, questa molecola si combina irreversibilmente con l'emoglobina del sangue inibendo la capacità di trasporto dell'ossigeno.

**Ossidi di azoto.** I principali sono il monossido (NO) ed il biossido (NO<sub>2</sub>), introdotti per lo più come monossido. Si stima che le attività umane producano una quantità circa 1/10 di quella naturale, ma mentre le sorgenti naturali (soprattutto attività batterica) distribuiscono questo inquinante abbastanza uniformemente, quelle dovute all'uomo (principalmente processi di combustione degli autoveicoli, delle industrie e del riscaldamento domestico) provocano alte concentrazioni in aree ristrette: nelle città la concentrazione di NO<sub>x</sub> è 10-100 volte maggiore che al di fuori di esse. Va considerato che la quantità di ossidi di azoto prodotta non dipende dal tipo di combustibile utilizzato, ma solo dalla temperatura di combustione e dalla quantità di ossigeno presente, in quanto tali inquinanti si formano per ossidazione dell'azoto atmosferico.

Gli effetti tossici riguardano soprattutto l'apparato respiratorio (bronchiti, tracheiti, forme di allergia e irritazione).

Contribuiscono inoltre alla formazione delle piogge acide e dello smog fotochimico e, favorendo l'accumulo dei nitrati al suolo, possono alterare gli equilibri ambientali nelle acque naturali.

**Ossidi di zolfo.** I principali sono l'anidride solforosa (SO<sub>2</sub>) e l'anidride solforica (SO<sub>3</sub>); quest'ultima tende a combinarsi con il vapore acqueo con conseguente formazione di acido solforico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Circa i 2/3 della quantità complessiva di ossidi di zolfo derivano da fenomeni naturali (processi biochimici e attività vulcaniche). Le emissioni di origine antropica sono imputabili a processi di combustione industriali, centrali termoelettriche e a impianti di riscaldamento domestico.

Gli effetti nocivi conseguenti all'inalazione di SO<sub>2</sub> da parte dell'uomo interessano le mucose delle prime vie respiratorie, con possibilità che ne derivino bronchiti croniche ed enfisemi.

I danni provocati all'ambiente sono connessi al fenomeno delle piogge acide e si manifestano con l'alterazione degli ecosistemi acquatici, nella moria dei boschi e nella minor resa agricola.

**Idrocarburi.** Quelli connessi all'inquinamento sono una sessantina, con numero di atomi di C minore o uguale a 12 (sono quindi tutti gas). La quantità maggiore viene prodotta dalla decomposizione di materia organica (fermentazione batterica), ma le alte concentrazioni riscontrabili nelle aree urbane sono dovute prevalentemente al traffico veicolare.

Una parte considerevole dei loro effetti nocivi deriva dai prodotti delle reazioni fotochimiche in cui sono coinvolti (smog fotochimico).

Riguardo l'uomo ed altri animali rilevanti sono gli effetti neurotossici dello xilene e la cancerogenicità del benzene.

Lo smog fotochimico è inoltre implicato nei processi di acidificazione e nell'incremento dell'"effetto serra".

**Polveri sottili.** Si tratta di goccioline liquide e di particelle volatili (detti anche particolati) con dimensioni comprese tra  $0,0002\mu$  e  $500\mu$  che possono rimanere sospese per periodi varianti da pochi secondi a molti mesi, in funzione della velocità di sedimentazione che a sua volta dipende dalle dimensioni, dalla densità delle particelle e dalla turbolenza dell'aria.

Derivano sia da fenomeni naturali (eruzioni vulcaniche ed azione del vento) che da lavorazioni industriali (edilizia, fonderie, cementifici), lavorazioni agricole, usura dell'asfalto, dei freni e delle frizioni nonché dagli scarichi degli autoveicoli.

Le particelle sospese possono causare irritazioni ed allergie alle mucose, inoltre possono costituire nuclei di condensazione per inquinanti gassosi che così vengono concentrati nel particolato.

Particolarmente pericolose per la salute risultano le ceneri costituite da ossidi di metalli pesanti, quali cadmio, rame, piombo e selenio.

## GLI INQUINANTI SECONDARI

**Ozono.** E' un gas bluastro, di odore caratteristico (pungente), che si forma a partire dall'ossigeno dell'aria per azione della radiazione ultravioletta presente nella luce solare oppure con scariche elettriche. A livello del suolo (troposfera) la presenza di ozono risulta dannosa sia per la popolazione che per la vegetazione ed è un indicatore indiretto del livello di inquinamento atmosferico in quanto la formazione di questo gas è influenzata dalla presenza degli inquinanti che derivano dall'attività antropica.

L'ozono è un "inquinante secondario" in quanto esso non è prodotto direttamente dalle attività umane, ma si forma dalla reazione di alcuni "inquinanti primari" (ad esempio ossidi di azoto) con l'ossigeno dell'aria in presenza di particolari condizioni climatiche caratteristiche del periodo estivo (forte irraggiamento solare ed elevata temperatura).

Dal punto di vista prettamente medico bisogna sottolineare che il principale bersaglio dell'ozono sono le mucose delle vie aeree. Le conseguenze sulle vie aeree dipendono dalle concentrazioni dell'ozono e dal tempo di esposizione. A concentrazioni sempre crescenti, e comunque ben al di sopra dei limiti indicati dalla normativa come limiti di attenzione e per periodi prolungati di tempo, gli studi epidemiologici dimostrano un aumento del rischio di riduzione dei parametri di funzionalità respiratoria e dell'insorgenza di sintomi irritativi delle vie aeree. Aumentando l'attività fisica e, quindi, la profondità e frequenza del respiro, aumenta la penetrazione dell'ozono nelle vie aeree più basse. I soggetti più a rischio sono quelli che soffrono di malattie delle vie respiratorie, quali asma e broncopatia cronica ostruttiva; i soggetti anziani, a causa di una riduzione fisiologica della funzionalità respiratoria, sono anch'essi considerati a rischio. Si deve ricordare che, da dati di letteratura, proprio per l'elevata reattività dell'ozono, le concentrazioni di questo inquinante all'interno delle abitazioni sono da 4 a 10 volte inferiori a quelle presenti all'esterno.

## IL MONITORAGGIO DELL' INQUINAMENTO ATMOSFERICO

Essendo le sostanze inquinanti numerose e ciclicamente rinnovate, non di tutte conosciamo con precisione le caratteristiche chimico-fisiche, gli effetti sugli organismi viventi e la loro capacità di interagire con le altre sostanze tossiche presenti. Inoltre non è sempre facile evidenziare l'influenza delle condizioni climatiche e delle caratteristiche orografiche del territorio sulla presenza e diffusione di tali sostanze.

Il monitoraggio dell'inquinamento può fornire dati sufficientemente affidabili e significativi solo se basato sulla conoscenza approfondita delle diverse variabili coinvolte e sull'utilizzazione di parametri di valutazione diversificati.

Attualmente il monitoraggio dell'inquinamento atmosferico è affidato quasi esclusivamente ad apparecchiature collocate in centraline fisse o mobili; esse misurano le concentrazioni di alcuni inquinanti nel luogo in cui si trovano e in un determinato momento.

Questo tipo di valutazione comporta alcuni limiti:

- ◆ monitoraggio di pochi parametri
- ◆ costi elevati
- ◆ discontinuità dei dati nel tempo e nello spazio
- ◆ ubicazione non sempre appropriata

Inoltre le centraline forniscono dati qualitativi e quantitativi sulle concentrazioni dei singoli inquinanti, ma non danno nessuna indicazione riguardo ai danni che questi provocano sulla salute dell'uomo e degli altri organismi, né tantomeno sugli effetti sinergici dovuti a miscele di diversi inquinanti, cioè non indicano la "qualità dell'aria".

Da questo la necessità di affiancare ai metodi tradizionali di analisi strumentale metodiche di tipo biologico (biomonitoraggio) basate sullo studio di organismi viventi che, con la loro presenza o assenza e la loro quantità e qualità, consentono una stima del grado di qualità ambientale di una data area.

## BIOINDICATORE

E' un organismo che reagisce con delle risposte facilmente osservabili e quantificabili a differenti livelli di disturbo ambientale.

I principali sintomi presi in considerazione sono generalmente:

- modificazioni morfologiche
- variazioni della vitalità (modificazioni fisiologiche)
- danni genetici

Più organismi insieme possono essere utilizzati come bioindicatori quando l'inquinamento determina delle variazioni misurabili a livello di ecosistema o di comunità.

### CARATTERISTICHE DI UN BUON BIOINDICATORE:

- deve essere ampiamente distribuito, facilmente reperibile ed individuabile
- deve essere stazionario o con scarsa mobilità
- deve avere sensibilità nota a certe sostanze inquinanti
- deve avere un lungo ciclo vitale, notevole resistenza agli stress ambientali naturali e mostrare un accrescimento lineare e continuo
- deve possedere uniformità genetica

## I LICHENI

Il lichene è un vegetale costituito da due organismi viventi, un fungo e un'alga, che vivono in simbiosi

La componente algale(ficobionte) è normalmente costituita da alghe verdi (*Chlorophyceae*) di varie specie; solo l'8% dei licheni contiene alghe azzurre (cianobatteri).

Il partner fungino (micobionte) normalmente appartiene alla classe degli Ascomiceti.

Sfruttando le relative capacità (attività fotosintetica dell'alga, disponibilità di acqua e sali minerali e protezione contro il disseccamento del fungo) a vantaggio reciproco, uniti nel lichene i due organismi vivono in condizioni di siccità e freddo intenso che da soli non potrebbero sopportare.

### ***SUBSTRATO.***

I licheni possono fissarsi e crescere su vari tipi di substrato, da cui la loro distinzione in **epifiti** (o corticicoli), **rupicoli** e **terricoli**.

### ***FORME DI CRESCITA.***

- Licheni **crostosi**: hanno tallo estremamente sottile appressato al substrato (roccia o corteccia); mancano di cortex inferiore, si presentano come macchie multicolori. La superficie può apparire continua, fessurata o suddivisa in areole concave, piane o convesse. La parte marginale può presentare un anello, spesso di colore diverso, costituito dal solo micobionte. Includono specie capaci di penetrare nel supporto che li ospita grazie alla produzione e all'emissione di sostanze chimiche in grado di dissolvere superficialmente la roccia permettendo al lichene di penetrarvi in profondità (licheni endolitici)
- Licheni **foliosi**: il tallo si sviluppa prevalentemente in due dimensioni, attaccato al substrato (roccia, corteccia o suolo), può venir sollevato da esso almeno nella parte marginale dove il tallo ha forma di lobi più o meno grandi con margine liscio o dentellato e, a volte, con delle strutture filiformi.
- Licheni **fruticosi**: i talli si sviluppano in tre dimensioni, assumendo varie forme (pendenti, ramificate, coniche, ad imbuto rovesciato, ecc.); possono essere semplicemente appoggiati al substrato o ancorati ad esso tramite un bottone fissatore alla loro base.

Di importanza minore i licheni **squamulosi** e i licheni **gelatinosi**.

### ***STRUTTURA.***

L'insieme delle ife fungine e delle cellule algali è detto **tallo**: questo può essere omeomero, se in sezione non appare differenziato, o eteromero quando in sezione si possono distinguere vari strati; dall'alto in basso:

- strato corticale (cortex superiore), formato da ife più o meno strettamente intrecciate;
- strato gonidiale, occupato da cellule globose di alghe;
- strato midollare (medulla), formato da ife lassamente intrecciate con poche cellule algali e numerosi spazi contenenti aria;
- strato corticale (cortex inferiore), non sempre presente, su cui a volte sono presenti fasci di ife che servono ad ancorare il lichene al substrato (rizine).

### ***Strutture superficiali***

Gli strati corticali superiore ed inferiore dei licheni foliosi e fruticosi possono presentare:

- **rizine**, strutture filamentose, di svariate forme, costituite da ife strettamente attorcigliate la cui funzione è di ancorare il lichene al substrato;
- **cilia**, filiformi, presenti solo al margine dei lobi del lichene;
- **pseudocifelle**, derivano da lacerazioni locali più o meno profonde del cortex, sia superiore che inferiore, che raggiungono lo strato midollare (in corrispondenza ad esse si può notare lo strato sottostante di colore bianco); la loro forma è varia, da puntiforme a lineare o reticolata; la loro funzione è quella di effettuare scambi con l'esterno;
- **pruina**, depositi, per lo più cristallini, superficiali, di colore biancastro; spesso mascherano il colore naturale del lichene;
- **peli**, molto sottili, costituiti da una singola ifa, se addensati conferiscono un aspetto di velluto.

## BIOLOGIA DEI LICHENI

I licheni sono molto resistenti e longevi. Sopportano le condizioni di vita più difficili grazie alla loro capacità di passare rapidamente in uno stato di quiescenza.

**Acqua.** I licheni assumono l'umidità dell'ambiente esterno sotto forma di pioggia, nebbia, neve, brina o rugiada su tutta la loro superficie in modo molto rapido; allo stesso modo quest'acqua viene dispersa altrettanto facilmente. Questo è dovuto all'assenza di adattamenti specifici che proteggano o regolino la perdita d'acqua.

Si disidratano quindi molto facilmente in relazione al grado di umidità atmosferica; perdendo acqua riducono anche la fotosintesi e la respirazione, entrando in una sorta di dormienza; riescono comunque a sopravvivere in quanto l'umidità dell'aria o della rugiada mattutina sono sufficienti per attivare le funzioni vitali, la fotosintesi in particolare.

Sono inoltre in grado di sopportare lunghi periodi di siccità: le forme crostose ancorate alle rocce possono sopravvivere per mesi in stato di disidratazione.

Vivono particolarmente bene nelle zone ad elevata umidità atmosferica: il valore ottimale di umidità dell'aria si aggira attorno al 70%.

**Temperatura.** La temperatura che permette il funzionamento ottimale della fotosintesi è particolarmente bassa: per la maggior parte delle specie si avvicina infatti ai +10°C.

Per i licheni delle regioni artiche ed antartiche questa temperatura ottimale si aggira al di sopra di 0°C; per questi licheni la vita attiva è possibile anche a -15°C.

Normalmente sopportano, eventualmente in dormienza, temperature comprese tra -20°C e +70°C.

**Luminosità.** Necessitano di una notevole quantità di luce: sono infatti rari nelle foreste fitte e, in questo caso, vivono di preferenza sui rami più alti della chioma.

**Sostanze chimiche.** I licheni contengono, in piccolissima percentuale, sostanze chimiche prodotte dal metabolismo secondario: gli acidi lichenici, di cui ne sono stati identificati più di 200.

Le loro funzioni non sono ancora ben chiare: si pensa che possano proteggere il lichene dalle radiazioni solari, che lo conservino alle basse temperature, che posseggano funzioni nell'equilibrare il rapporto fungo-alga. Alcune di queste sostanze danno al lichene un gusto amaro e, spesso, sono all'origine del loro colore.

**Crescita e longevità.** La crescita è, in genere, estremamente lenta; il *Rhizocarpon geographicum* che colonizza le rocce di montagna si accresce di 4 mm per secolo!

Presentano comunque velocità di crescita e longevità molto diverse. In alcune specie di licheni solo il bordo esterno del tallo è vivo, mentre la parte centrale è morta.

I licheni foliosi epifiti aumentano, in media, da 1 a 4 mm all'anno; la loro longevità si aggira sui 30-50 anni.

**Riproduzione.** Nei licheni esistono due tipi di riproduzione: sessuata ed asessuata.

**Riproduzione sessuata.** È esclusiva del fungo; avviene tramite spore formate in corpi fruttiferi detti ascocarpi, che possono essere a forma di disco o piatto con bordo più o meno sviluppato (**apotecii**) o a forma di fiasco approfondito nel tallo (**peritecii**).

Gli apotecii possono avere il bordo dello stesso colore del disco se formati solo da ife fungine (a. lecideino), oppure il bordo di colore diverso qualora vi siano presenti anche alghe (a. lecanorino). All'interno dell'apotecio sono contenuti gli aschi con le spore, normalmente 8, di forma e dimensione diverse.

I peritecii, tipici dei licheni endolitici, appaiono invece come piccoli punti neri sulla faccia superiore del tallo, con diametro spesso inferiore a 1 mm.

Le spore espulse da questi organi sono disperse dall'acqua e dal vento; se incontrano, entrando in contatto un'alga "adatta" si potrà formare un nuovo lichene.

**Riproduzione asessuata** (moltiplicazione vegetativa). Avviene tramite la dispersione di piccoli frammenti costituiti da ife e da alghe che si staccano dal tallo del lichene. Ciò può avvenire in due modi tramite:

**soredi**, gomitolini non corticati di ife avvolgenti poche cellule algali che fuoriescono dalla medulla in seguito a lacerazione della cortex superiore. Osservati con la lente appaiono come piccoli granelli di

polvere sulla superficie del lichene, sparsi su tutta la superficie o presenti solo in alcuni punti aggregati a formare **sorali** di svariate forme;

**isidi**, propaguli più grossi costituiti oltre che da ife e cellule algali anche da uno strato corticale; appaiono come estroflessioni di forme diverse a seconda della specie di licheni.

## **I LICHENI COME BIOINDICATORI**

I licheni, ed in particolare quelli epifiti, sono in grado di fornire ottime indicazioni sulla qualità dell'ambiente, in quanto il loro metabolismo dipende essenzialmente dall'atmosfera.

Le principali caratteristiche che fanno dei licheni degli ottimi strumenti per la valutazione dell'inquinamento atmosferico sono:

**- elevata capacità di assorbimento e di accumulo di sostanze prelevate dall'atmosfera.**

Mancando di aperture stomatiche ed essendo privi di cuticola, i licheni attuano gli scambi gassosi attraverso tutta la loro superficie, riuscendo a captare il vapore acqueo anche dall'aria non satura con un assorbimento che si attua sia nelle ore diurne che notturne per molti anni. Dipendendo il loro metabolismo quasi esclusivamente dall'atmosfera essi riescono ad accumulare a livelli facilmente apprezzabili quei contaminanti atmosferici (metalli, radionuclidi, idrocarburi clorurati, fluoruri, ecc.) difficilmente misurabili in campioni d'aria. Elementi nutritivi e contaminanti vengono assunti in forma gassosa, in soluzione o associati al particellato.

**- resistenza a stress ambientali.**

In condizione di stress idrico i licheni rallentano le proprie attività metaboliche cosicchè aumenta la loro resistenza ai contaminanti atmosferici. L'aridità protratta nel tempo provoca comunque un deterioramento delle cellule algali. La resistenza alle basse temperature permette un'attività continua, anche nel periodo invernale, quando i livelli di inquinamento atmosferico sono generalmente più elevati.

**- impossibilità di liberarsi periodicamente delle parti vecchie e intossicate**

Non possedendo meccanismi di escrezione attiva, i licheni non hanno la possibilità di eliminare le sostanze contaminanti accumulate.

**- lento accrescimento e grande longevità.**

Queste caratteristiche consentono di ottenere dai licheni una stima dell'inquinamento su tempi lunghi, seguendone i cambiamenti.

**- sensibilità agli agenti inquinanti.**

Un'azione depressiva sull'attività fotosintetica è stata sperimentalmente dimostrata per numerose sostanze: anidride solforosa, idrocarburi, piombo, zinco, cadmio, fluoruri, ecc. Le singole specie licheniche presentano diversi gradi di tolleranza rispetto alle sostanze inquinanti.

Attualmente sono disponibili delle "scale di tolleranza" delle specie licheniche nei confronti della concentrazione media atmosferica di SO<sub>2</sub>, che permettono di stimare il grado di inquinamento a partire dalla flora lichenica del posto.

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

a) come bioindicatori, quando si correlano determinate intensità di disturbo ambientale a variazioni del loro aspetto esteriore, della loro copertura, della ricchezza floristica (approccio indiretto floristico);

b) come bioaccumulatori, sfruttando la loro capacità di assorbire sostanze dall'atmosfera: si tratta di un approccio diretto basato sull'analisi delle concentrazioni delle sostanze nei talli lichenici.

## **TIPI DI RISPOSTA A SITUAZIONI DI INQUINAMENTO**

In seguito a numerosi studi sono stati identificati:

**- riduzione della fotosintesi e della respirazione per danneggiamento della clorofilla.**

Studi sul campo e ricerche di laboratorio hanno dimostrato che l'anidride solforosa è il principale inquinante che interessa i licheni su larga scala, venendone alterati i processi di fotosintesi, respirazione e flusso di nutrienti tra l'alga e il fungo. Fattori quali la superficie disponibile per gli scambi gassosi, velocità di idratazione ed idrorepellenza del tallo, pH e capacità tamponante del substrato, determinano diversa sensibilità delle specie licheniche all'anidride solforosa.

Gli effetti prodotti sono di due tipi:

- danni indiretti: a causa dell'azione acidificante sulle piogge e nebbie, l'anidride solforosa determina una riduzione della capacità tamponante del substrato, la diminuzione del pH del substrato e l'alterazione degli equilibri delle forme ioniche generate dall'anidride solforosa in soluzione acquosa, con conseguenti danni alla clorofilla algale.
- danni diretti: la tossicità delle soluzioni acquose dell'anidride solforosa aumenta con la diminuzione del pH della soluzione, in quanto esso determina la proporzione delle differenti forme ioniche presenti in soluzione ossia acido solforico, bisolfito e solfito, caratterizzati da diverse proprietà ossidoriducanti e diversa carica. I danni manifestati dai licheni, ma anche dalle piante superiori, possono venir così spiegati: valori bassi di pH spostano l'equilibrio a favore dell'acido solforoso, determinando una riduzione dell'attività fotosintetica a causa dell'ossidazione della clorofilla; a valori di pH minori di 3 la clorofilla si trasforma in feofitina per sostituzione dell'atomo di magnesio con lo ione idrogeno.

**- riduzione della vitalità ed alterazione della forma e del colore del tallo.**

Avvicinandosi alle fonti inquinanti si osserva un progressivo deterioramento delle condizioni del tallo, manifeste nello scolorimento e nel distacco dal substrato.

**- riduzione della fertilità.**

Essa diminuisce in funzione del tempo di esposizione e dell'avvicinamento alla fonte inquinante.

Si manifesta nella riduzione della larghezza degli apoteci e nella loro rarefazione. I licheni che si riproducono per mezzo di isidi e sorelli sembrerebbero favoriti nelle stazioni inquinate; tuttavia concorrendo alla loro formazione le cellule algali, sensibili agli agenti tossici, anch'essi sono condizionati dall'inquinamento.

**- diminuzione della copertura delle specie; alterazione della comunità lichenica.**

Nelle zone più inquinate, come ad esempio i centri cittadini vi è maggior presenza di licheni crostosi rispetto a quelli foliosi e fruticosi. Va comunque rilevato che talora, 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 foliose, più competitive in ambienti a loro confacenti.

**- riduzione del numero totale di specie nel tempo.**

Questa circostanza risulta da una gran quantità di studi in varie città laddove è stata accertata la rarefazione dei licheni nelle zone in cui si è verificato un aumento dell'inquinamento. In molti casi si è pure notato un recupero della vitalità dei licheni dopo l'assunzione di misure finalizzate a ridurre la quantità di emissioni inquinanti.

**- riduzione del numero totale di specie nello spazio.**

In periodi e località differenti, numerosi ricercatori hanno rilevato che, passando dal centro cittadino alla periferia, vi è un aumento del numero di specie di licheni indipendentemente dal tipo di substrato considerato.

## **RICONOSCIMENTO E DETERMINAZIONE DEI LICHENI**

La determinazione delle specie licheniche può apparire un compito estremamente difficile, considerato l'elevato numero di specie presenti in Italia. Va quindi sottolineato che i licheni epifiti, da utilizzare quali bioindicatori, in aree antropizzate normalmente non superano le 40-50 specie, di cui soltanto una ventina veramente comuni e presenti su tutto il territorio nazionale.

Il primo elemento percettivo molto importante, anche se non è assoluto per la soggettività dell'osservatore, è il colore dei talli lichenici. Esempi tratti da specie molto comuni sono:

biancastro-verde: *Physcia adscendens*  
giallo: *Candelaria concolor*  
arancione: *Xanthoria parietina*  
verde-giallastro: *Parmelia caperata*  
grigio chiaro: *Parmelia subrudecta*  
grigio-verde: *Parmelia liliacea*

Altri elementi da osservare sono:

- forma, disposizione, colore faccia inferiore dei lobi;
- presenza di soredi e forma dei sorali;
- presenza e forma degli isidi;
- presenza e colore degli apotecii;
- presenza e forma di pseudocifelle;
- cilia marginali;
- forme di ancoraggio al substrato (presenza, forma e colore delle rizine);
- risultati di test colorimetrici.

Semplici test consentono di ottenere caratteristiche colorazioni per interazione fra gli acidi lichenici ed alcuni reagenti chimici. A scopo didattico si utilizzano:

K- idrossido di potassio in soluzione satura (il reagente rimane attivo per parecchi mesi)

C – ipoclorito di sodio in soluzione acquosa al 50% (la soluzione diviene inattiva in pochi giorni)

I reagenti vengono impiegati singolarmente o uno di seguito all'altro, nell'ordine K, C., in piccola quantità sul tallo con un capillare.

L'esito del test viene indicato riportando il nome del reagente impiegato, seguito dal segno + se il viraggio di colore è avvenuto, seguito dal segno – se non si è riscontrato alcun cambiamento di colore. L'osservazione fa fatta istantaneamente in quanto spesso il viraggio è labile; in tutti i casi dubbi il test va effettuato su carta da filtro, osservando il diffondersi della soluzione colorata sulla carta. Quando è necessario eseguire il test sulla medulla, bisogna asportare con una lametta o con un bisturi il cortex superiore.

## BIOMONITORAGGIO MEDIANTE LICHENI

Basandosi sul numero, frequenza e tolleranza delle specie licheniche epifite nell'area considerata, si ottiene l'“Indice di biodiversità lichenica” (IBL) che fornisce una valutazione quantitativa del livello dell'inquinamento atmosferico.

L'applicazione della metodica prevede le seguenti fasi:

- **analisi dell'area di studio:** vanno esaminate le principali caratteristiche meteorologiche (clima, direzione dei venti), l'ubicazione delle principali fonti inquinanti (in particolare riguardo al riscaldamento urbano, il traffico veicolare e le industrie), la distribuzione delle aree verdi.

- **individuazione di un certo numero di stazioni adatte al rilevamento;** l'ubicazione dipenderà essenzialmente dalla disponibilità di alberi che soddisfino le caratteristiche standard.

Ciascuna stazione deve essere composta da un massimo di 4 a un minimo di 2 alberi della stessa specie, scelti tra quelli che presentano la maggior copertura lichenica. Ulteriori criteri di scelta sono: il tronco deve essere perfettamente verticale; non deve presentare ferite, grossi bitorzoli o scanalature; la corteccia deve essere integra e non deve desquamarsi; gli alberi devono essere quanto più possibile isolati e lontani da oggetti che possano porli in ombra o ripararli da vento e precipitazioni (muri, costruzioni, altri alberi, ecc.); la circonferenza deve essere superiore a 70 cm, misurata a 120 cm da terra; vanno privilegiati alberi a scorza moderatamente acida (es; tiglio).

Se nell'area considerata non è presente una specie arborea con distribuzione sufficientemente omogenea, si può ricorrere a un secondo tipo di albero con analoghe caratteristiche a livello di pH e morfologia corticali (unitamente al tiglio, ad esempio, possono essere utilizzati il pioppo e la quercia). Non devono mai essere presi in considerazione platani, ippocastani, betulle e tutte le specie di conifere.

Circa la distribuzione delle stazioni nell'area di studio, laddove il loro numero non sia sufficiente a coprirli con densità adeguata, è consigliabile disporre le stazioni lungo percorsi che dalle zone centrali, o presumibilmente più inquinate, conducano verso aree periferiche.

- **rilevamento**: è effettuato mediante 4 retini (realizzati con assicelle in legno e cordicella, deve avere 50 cm di altezza e 10 cm di larghezza, suddivisi in 5 quadrati) applicati all'albero uno per ciascun punto cardinale e in modo che: la sua porzione basale disti dal suolo almeno 120 cm. Per ogni specie di lichene individuata va rilevata la frequenza, ossia in quanti quadrati compare (0-5) compilando un'apposita scheda. Qualora non si riesca a determinare una specie, le si attribuisce un nome fittizio; è infatti importante *distinguere* le diverse specie. Questa operazione viene ripetuta per tutti i punti cardinali.

- **elaborazione dati**: sulla base dei valori riportati nelle schede di rilevamento va calcolata la frequenza totale per ogni albero. Sommando le frequenze totali dei licheni degli alberi della stazione e dividendo per il loro numero si ottiene l'IBL della stazione: il confronto con classi di qualità standard consente una valutazione delle caratteristiche di qualità dell'aria. Le stazioni possono inoltre essere evidenziate sulla carta topografica correlando i valori dell'IBL a fasce, determinate secondo una formula standard, evidenziate con colori diversi.

Tenuto presente che i licheni non forniscono un dato puntiforme nel tempo dell'inquinamento dell'aria, ma visualizzano una situazione creata nel corso di più anni, è opportuno ripetere lo studio in tempi successivi sempre sugli stessi alberi, in modo da poter stabilire se vi sono variazioni, in senso positivo o negativo, dello stato di salute dei licheni e quindi della qualità dell'aria.