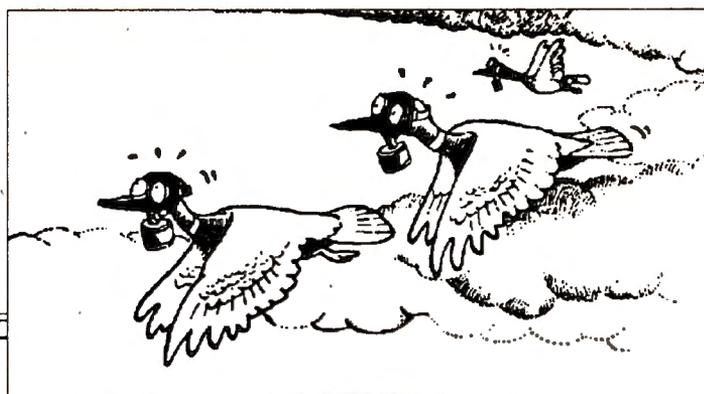


L' INTERVISTA



Quattro chiacchiere con il dottor Schenone a proposito degli

ASPETTI BIOLOGICI DELL' INQUINAMENTO ATMOSFERICO

a cura di **Rossella Azzoni**

Il dottor Giorgio Schenone lavora nel Laboratorio di Biologia Terrestre del Centro Ricerche Termiche e Nucleari (C.R.T.N.) di Milano, uno dei centri operativi della Direzione Studi e Ricerche dell' ENEL; è attualmente impegnato nel progetto di ricerca "Effetti dell' inquinamento atmosferico su foreste ed agricoltura", che fa capo al più ampio progetto di ricerca "Contributi dell' ENEL alla conoscenza di problematiche ambientali", centrato sullo studio del trasporto e della ricaduta degli inquinanti atmosferici, dell' acidificazione delle precipitazioni e degli effetti di queste sul patrimonio vegetale, idrico e monumentale.

Dottor Schenone, per meglio inquadrare gli argomenti che seguiranno, dovrebbe sommariamente illustrare la strutturazione dell' attività di ricerca ENEL.

La Direzione Studi e Ricerche dell' ENEL è organizzata in cinque Centri di Ricerca che coprono tutti gli aspetti tecnologici e ambientali connessi alla produzione elettrica. Il C.R.T.N. di Milano in particolare comprende due distinti servizi: l' uno, il Servizio Tecnologie e Materiali, si occupa delle problematiche connesse alla strutturazione ed alla operatività degli impianti termoelettrici e nucleari; l' altro, il Servizio Ambiente, sviluppa ricerche applicate legate ai "sottoprodotti" degli im-

pianti per la produzione dell' energia elettrica.

Le linee di ricerca seguite da questo Servizio sono centrate sui seguenti argomenti:

- studio della diffusione e della distribuzione dei radionuclidi nell' ambiente;
- utilizzazione del calore residuo delle centrali in impianti di acquacoltura, in serra e in pieno campo;
- impatto del calore residuo sugli ambienti marini;
- effetti ambientali dell' inquinamento atmosferico.

Lo svolgimento di queste ricerche è realizzato in parte direttamente dal C.R.T.N. ed in parte da istituti esterni (Università, C.N.R., Società di Servizi,...) attraverso contratti.

Lei si occupa, in particolare, degli effetti delle piogge acide. Vuole darci un quadro della situazione?

Innanzitutto, va precisato che le piogge acide sono un aspetto di un fenomeno più vasto di inquinamento atmosferico che comprende anche le deposizioni secche. Ecco perchè, in generale, si preferisce parlare di deposizioni acide.

Le deposizioni acide sono attualmente oggetto di attenzione in tutto il mondo in quanto sono ritenute collegate a manifestazioni di degrado ambientale riguardante laghi, foreste e monumenti.

Le prime preoccupazioni sulle deposizioni acide iniziarono a diffondersi negli anni '70 quando i Paesi Scandinavi cominciarono a registrare un processo di acidificazione dei laghi con conseguenti danni alla fauna ittica, che in alcuni casi giungevano fino alla sparizione della stessa. Negli anni '80 la Germania Federale ha iniziato a denunciare danni crescenti ad alcune foreste della Selva Nera e della Baviera, investendo del problema la Comunità Europea. Inoltre, in tutte le grandi città europee sono stati evidenziati notevoli danneggiamenti al patrimonio monumentale.

Poichè l'attuazione di azioni correttive per evitare effetti irreversibili sugli ecosistemi è complicata dal fatto che esiste una notevole incertezza sulle cause reali dei danni ambientali osservati, è stato giudicato necessario pervenire ad una migliore comprensione dei fenomeni.

Mi risulta che il deperimento delle foreste sia un fenomeno che si sta manifestando con notevole intensità in Europa centrale e nel Nord America. Qual è la situazione italiana?

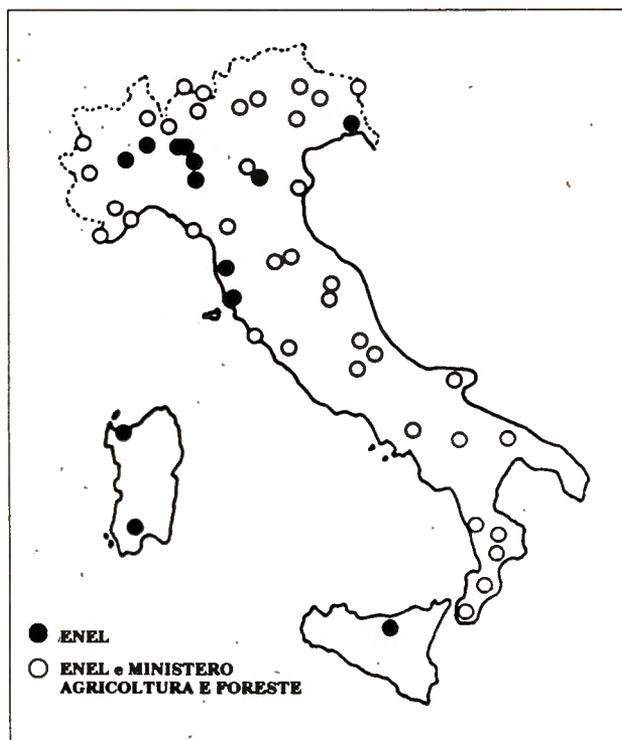
La situazione nel nostro Paese non è ancora ben definita: solo da poco tempo è iniziato un monitoraggio della qualità dell'aria e delle



precipitazioni in zone forestali. Il problema iniziale in cui ci siamo imbattuti è stato quello della pressochè assoluta mancanza di rilevamenti di dati di inquinamento atmosferico e di acidità delle precipitazioni in siti rurali e forestali: le misure, infatti, vengono solitamente eseguite in ambiente urbano.

Per superare questo problema è stata stipulata una convenzione con il Corpo Forestale dello Stato, che ha assunto l'incarico di raccogliere la pioggia su base settimanale in circa quaranta siti forestali distribuiti sul territorio nazionale e di inviarla a Milano, ove viene analizzata.

L'obiettivo è quello di effettuare un confronto fra le caratteristiche chimiche delle piogge e lo stato di salute delle foreste valutato nei punti-bosco del reticolo trichilometrico dell'Inventario Forestale Nazionale. L'indagine sullo stato sanitario delle foreste consiste nella periodica rilevazione dei dati sanitari eseguita dal personale del Corpo Forestale dello Stato in circa novemila di questi punti che coprono uniformemente l'intero territorio forestale nazionale. I rilevamenti riguardano la distribuzione delle piante danneggiate per specie e per categoria, con riferimento alla probabile causa del danno delle piante in esame.



Stazioni di raccolta dell' acqua piovana per lo studio delle deposizioni acide.

L'Inventario dei Danni Forestali (INDEFO) ha preso avvio nel 1984 e viene ripetuto ogni anno. I risultati, presentati ad un recente seminario sullo stato delle foreste in Italia tenutosi a Verona, sono stati elaborati da una Società informatica e sono disponibili sia in volume sia in "Banca dati".

Per questo tipo di confronto, è sufficiente disporre dei dati chimici dell' acqua piovana?

No, una valutazione accurata degli effetti ecologici attribuiti alle deposizioni acide richiede la conoscenza sia della chimica delle piogge, sia della qualità dell' aria. Mi riferisco alle concentrazioni in atmosfera dei principali

inquinanti gassosi (biossido di zolfo, ossidi di azoto, ozono) e degli aerosoli. Oltre alla già citata rete di campionatori di precipitazione abbiamo installato alcune stazioni automatiche di rilevamento dell' inquinamento atmosferico. Una è stata installata dai nostri colleghi del laboratorio ENEL-DCO di Piacenza presso la Foresta di Vallombrosa. Il C.R.T.N. ha posizionato una stazione sul monte Mottarone, vicino al lago Maggiore. La peculiarità di questa località prealpina consiste nel fatto che il Mottarone è il primo monte che le masse d'aria che provengono da Milano incontrano andando verso le Alpi: in questa stazione la mediana del pH della pioggia è intorno a quattro unità e si verificano consistenti apporti di SO_2 , NO_x e O_3 con la brezza di valle. Altre stazioni automatiche sono al Brennero e al Sestriere, e vengono utilizzate anche per lo studio del trasporto transfrontaliero. Le stazioni in siti rurali di pianura sono ubicate all'isola Serafini, sul fiume Po in provincia di Piacenza, ed a San Pietro Capofiume, in provincia di Bologna.

Immagino che il trasporto transfrontaliero dell' acidità crei problemi di ardua soluzione a livello internazionale.

Infatti, proprio in relazione alle implicazioni internazionali del problema è apparso importante avere una base di conoscenze precisa sul trasporto transfrontaliero fra Italia e Stati limitrofi. Per molti Stati potrebbe accadere che una riduzione delle emissioni, non accompagnata da analoghe iniziative da parte delle nazioni confinanti, non produca benefici commisurati ai costi sostenuti.

Il programma di indagini ENEL comprende analisi climatologiche a scala generale, campagne sperimentali ed elaborazioni di modelli

di trasporto a grandi distanze, che tengano conto dell' effetto di grandi rilievi montani, quali le Alpi.

Come detto, per quanto riguarda la fase sperimentale, sono state installate due prime stazioni di misura al Sestriere, nelle Alpi occidentali, e al Brennero, in quelle orientali, per studiare le caratteristiche delle masse d' aria che si infiltrano fra le Alpi o le scavalcano. Tali stazioni, oltre a registrare in modo continuo i dati chimico-fisici relativi all' atmosfera, serviranno come base per campagne di misure effettuate con metodologie particolari, quali radio-sondaggi, telemisure, ecc.

Quali sono le condizioni delle foreste italiane?

Casi di deperimento sono presenti in svariate regioni italiane e colpiscono le stesse

specie colpite in Germania: abete bianco, abete rosso, pino silvestre, faggio e svariate altre specie di conifere e latifoglie. Danni agli abeti bianchi ed ai faggi sono visibili nella foresta di Vallombrosa, presso Firenze. Nella foresta del Monte Gouta, sulle Alpi Marittime, si assiste al marcato deperimento dell' abete bianco e del pino silvestre, con ingiallimento e caduta precoce degli aghi, sintomi del tutto simili a quelli presentati dai boschi tedeschi. In rilevante stato di deperimento si trovano alcune migliaia di ettari di bosco di abete in Trentino e in Alto Adige; danni sono segnalati anche in svariate località dell' Italia centrale e meridionale.

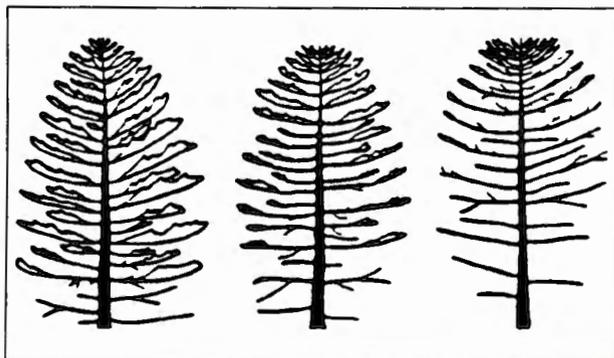
Le deposizioni acide però non sono che uno dei numerosi fattori acidificanti del suolo forestale. Solo in pochi siti è stata individuata una relazione di causa-effetto tra inquinamento atmosferico e deperimento degli alberi. E' questo il caso del pino marittimo lungo la costa toscana, dove è ormai dimostrato speri-



mentalmente che l' aerosol marino fortemente inquinato da tensioattivi ha danneggiato pesantemente gli alberi più vicini al mare.

IL CRTN si occupa di due bacini forestali campione: quello del Mottarone e quello del monte Gouta. Il primo ci permette di studiare il comportamento di foreste sottoposte a forti tassi di deposizioni acide. Qui la pioggia viene campionata anche sotto la chioma degli alberi per verificare il dilavamento delle deposizioni secche dalle foglie degli alberi e l' eventuale presenza di elementi nutritivi trascinati dall' acqua acida. Dai risultati attualmente a disposizione risulta che la pioggia sottochioma è più acida di circa un grado di pH e che la concentrazione di solfati e nitrati è molto più elevata di quella presente nella pioggia a cielo aperto.

Una seconda ricerca, iniziata da poco, si prefigge di comprendere i meccanismi che regolano i rapporti fra clima, crescita degli alberi e fattori non climatici tra i quali vi può essere l' inquinamento atmosferico. Abbiamo adottato un metodo dendrocronologico: attraverso lo studio degli anelli di crescita annuali ci proponiamo di individuare eventuali alterazioni nell' accrescimento, ed attraverso lo studio della chimica degli anelli di crescita valuteremo eventuali accumuli. L' analisi chimica degli anelli legnosi potrà dare utili informazioni sull' andamento passato delle deposizioni at-



Uno degli aspetti di deperimento da deposizioni acide nell' abete bianco: chioma a "nido di cicogna". La perdita di aghi avviene dal basso verso l' alto e dall' interno verso l' esterno. Nello stadio terminale solo la zona apicale (il "nido di cicogna") mantiene gli aghi.

mosferiche di inquinanti e sulle variazioni temporali nell' assunzione dei macro e micronutrienti, quindi fornire indicazioni sulla "storia" dell' inquinamento dell' area nella quale vissero le piante studiate.

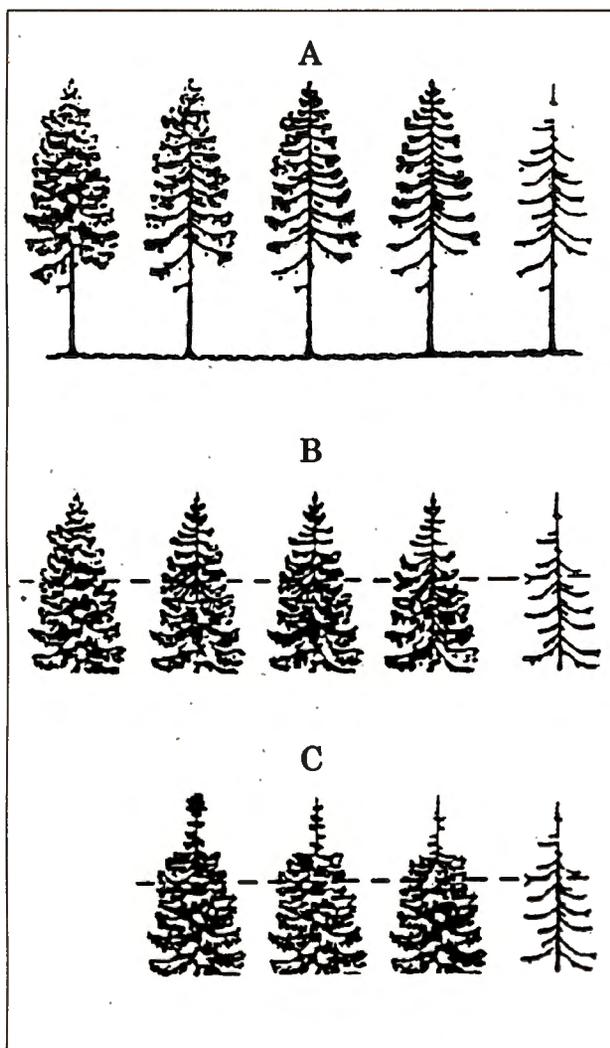
L' attenzione del C.I.S.B.A. nei confronti del problema "inquinamento atmosferico" è fino ad oggi stata estremamente superficiale. Nostri Soci, però, operano attivamente in questo campo utilizzando i licheni come bioindicatori.

Certamente i licheni sono indicatori eccellenti del grado di inquinamento atmosferico medio annuale. Una delle ricerche attivate per il controllo del trasporto transfrontaliero è stata realizzata dal Dipartimento di Biologia dell' Università di Padova mediante il biomonitoraggio della valle dell' Isarco attraverso lo studio dei licheni.

Poco fa ha citato due stazioni di rilevamento ubicate in siti rurali: sono legate al progetto per lo studio dell' influenza delle piogge acide sull' agricoltura?

Si, un apposito programma di ricerca ha l' obiettivo di identificare gli eventuali effetti delle deposizioni acide sulla produzione agraria e sui processi fisiologici fondamentali delle specie di più larga coltivazione in Italia.

Innanzitutto, va detto che difficilmente possono esserci effetti negativi a carico del suolo agrario, il cui chimismo è influenzato in maniera preponderante dalle pratiche agronomiche come la fertilizzazione o l' asportazione delle biomasse dei raccolti. Diverso è il



Tipi di defoliazione nell' abete rosso.

A: tipo a larice; B: tipo a finestre; C: tipo apicale.

discorso sui possibili effetti della deposizione di inquinanti direttamente sulle foglie. In questo caso, infatti, viene a mancare l' azione tamponante mediata dal terreno.

Gli inquinanti atmosferici primari di maggiore rilevanza in agricoltura sono il biossido di zolfo, gli ossidi d' azoto e l' acido fluoridrico. Tra gli inquinanti secondari, ossia quelli generatisi in seguito a trasformazioni fotochimiche in atmosfera a carico di inquinanti primari emessi dall' uomo, il più importante è l' ozono. La fitotossicità di questo gas è estremamente elevata, superiore a quella degli in-

quinanti primari da cui deriva.

Zolfo ed azoto, gli elementi responsabili di gran parte dell' acidità che ricade sulla terra, assumono il duplice ruolo di nutrienti essenziali o di agenti fitotossici a seconda della quantità e delle condizioni del terreno. Nel primo caso, infatti, quando l' uno o l' altro dei due elementi non è presente in sufficiente quantità nel suolo, la deposizione di SO_2 , NO_x o di pioggia acida sulle foglie e sul terreno induce un' evidente stimolazione della crescita a causa dell' effetto nutritivo di zolfo e azoto. Se però vengono superate determinate dosi soglia, gli effetti si invertono e compare uno stato di stress dovuto all' azione tossica degli acidi, che ha come risultato una riduzione più o meno marcata dello sviluppo.

Comunque, l' attenzione dei ricercatori è attualmente rivolta prevalentemente ai possibili effetti della deposizione secca, in quanto la sperimentazione ha dimostrato che la deposizione acida umida sulle foglie delle piante agrarie ha conseguenze minime e, quando si verificano effetti, questi possono essere anche positivi. Viceversa, la deposizione secca di sostanze acide (polveri e gas) a dosi elevate può provocare effetti visibili di tipo acuto come ingiallimento o necrosi. Questi effetti si verificano però solo occasionalmente presso i moderni impianti industriali, in seguito alla riduzione delle emissioni di zolfo e al miglioramento delle modalità di dispersione dei fumi.

Altra eventualità importante è quella che riguarda la deposizione secca di gas acidi a dosi basse e prolungate. Secondo alcuni autori, in certe condizioni si potrebbero manifestare degli effetti sulla crescita e la produzione delle piante agrarie senza avere sintomi visibili; in presenza di ozono gli effetti negativi sarebbero stimolati.

Ricordo che la deposizione secca degli inquinanti gassosi sui vegetali segue due vie: la prima consiste nel deposito sulla cuticola cerosa che riveste le foglie. Si può verificare così una acidificazione della superficie esterna della foglia, che non raggiunge però l' interno in

quanto lo strato ceroso risulta pressochè impermeabile ai gas. La seconda via, più rilevante in quanto riguarda circa il 90% della deposizione totale per l' SO_2 , avviene attraverso le aperture stomatiche che costituiscono la normale via di scambio gassoso della foglia con l'esterno.

Il nostro programma di ricerca si propone i seguenti obiettivi:

- identificare le modalità d' azione delle deposizioni acide sui processi fisiologici fondamentali delle specie e varietà di più larga coltivazione in Italia;
- ricavare, mediante ricerche sperimentali su campo, realistici rapporti di causa-effetto fra deposizioni acide e crescita di alcune specie particolarmente significative, sia erbacee che legnose;
- giungere ad una stima, in alcune località urbane e rurali, dell' effettivo impatto dell'inquinamento atmosferico locale sulle colture. A tal fine è in allestimento un laboratorio per la misura della fotosintesi delle piante agrarie in presenza di inquinanti, quali SO_2 e ozono. Inoltre, sono di recente stati installati due impianti con serre a tetto aperto che consentono di modificare e regolare l' inquinamento dell' atmosfera all'interno delle serre, senza alterare la temperatura e le altre variabili che condizionano la crescita.

Si ha già qualche informazione utile sulla situazione italiana?

Come già detto, i danni visibili da SO_2 quali ingiallimento e necrosi delle foglie, sono ormai solo occasionali intorno ai moderni impianti industriali dotati di camini alti. Abbastanza frequenti sono i danni da acido fluoridrico nei dintorni degli stabilimenti per la produzione di laterizi, ceramiche, vetro e alluminio.

Poco o nulla si sa sulla eventuale presenza



dei già citati "danni non visibili" alla produzione agricola causati dalla deposizione secca di SO_2 , NO_x , O_3 a dosi basse e per tempi prolungati. Scarsissima è la disponibilità di informazioni sulle risposte a lungo termine delle piante legnose da frutto, nelle quali potrebbero risultare molto importanti i fenomeni di accumulo.

Fondamentalmente, si sa troppo poco sulla qualità dell' aria nei siti rurali. Le stazioni di monitoraggio sono localizzate nella quasi totalità in siti urbani o rurali influenzati da grandi impianti industriali. Ogni rete pubblica di monitoraggio degli inquinanti dovrebbe viceversa comprendere almeno alcune stazioni in località significative per la produzione agricola o per la presenza di ecosistemi forestali.

Ricordo, infine, che la deposizione acida sulle foglie delle piante agrarie può influenzare lo sviluppo dei parassiti. Si registra un'estrema variabilità nelle risposte dei patosistemi: si possono avere azioni inibenti, indifferenti o stimolanti. Questi risultati non sono ancora chiaramente interpretabili perchè non si conoscono le modalità di interazione fra inquinanti atmosferici e organismi patogeni.

Mi risulta che le reti di rilevamento dell'inquinamento atmosferico registrino prevalentemente le concentrazio-

ni di SO_2 , e, in minor misura, di ossidi d'azoto. Estremamente scarse sono le stazioni attrezzate per il rilevamento dell' ozono che, viceversa, è particolarmente fitotossico.

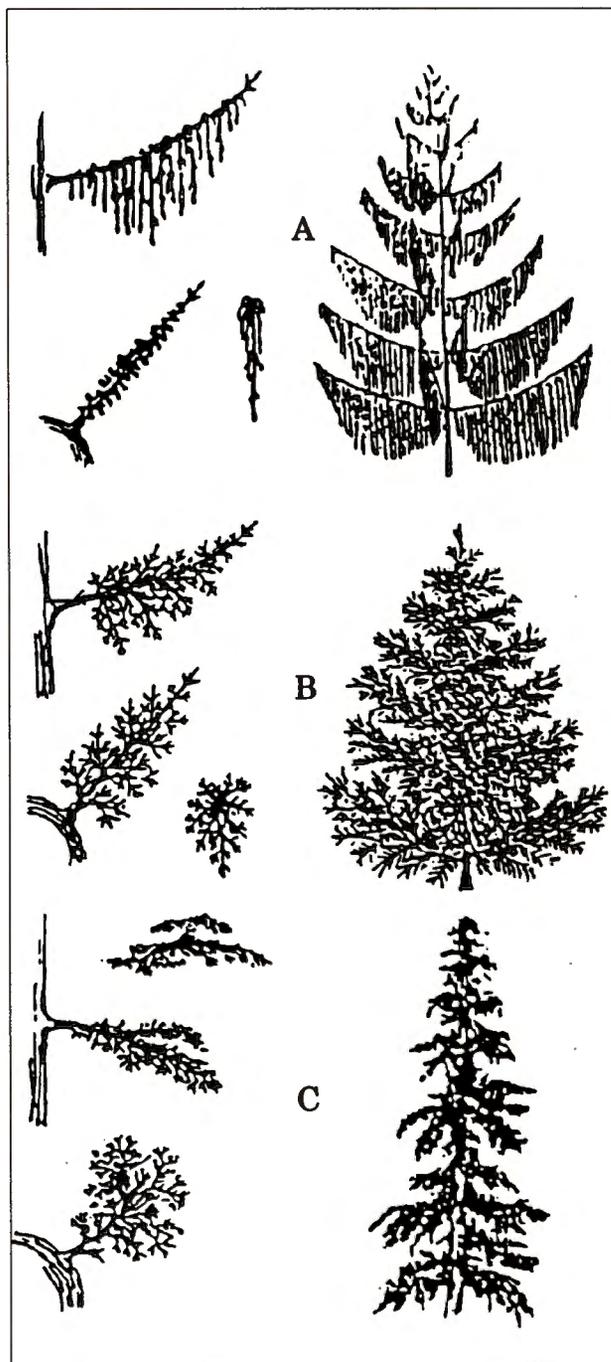
Effettivamente c'è una carenza generalizzata di dati relativi alle concentrazioni di ozono. Gli strumenti che effettuano la misura automatica di questo inquinante sono costosi e richiedono personale tecnico altamente specializzato, di conseguenza mal si prestano alla realizzazione di reti estese di monitoraggio. Però, per rilevare la presenza di ozono e conoscerne la distribuzione su vaste aree è possibile utilizzare come indicatore il danno visibile che compare sulla superficie fogliare di piante particolarmente sensibili.

L' ozono antropogenico è prodotto dalla reazione chimica, favorita dalla radiazione solare UV, tra idrocarburi e ossidi di azoto prodotti dalla maggior parte dei processi di combustione. La concentrazione di ozono nella bassa atmosfera dipende quindi da quella dei precursori e dall' irraggiamento solare. E' infatti durante la stagione estiva che si possono registrare i valori più alti di O_3 .

La particolare conformazione geografica della valle Padana, l' elevata densità di fonti di emissioni mobili e stazionarie nonché uno scarso ricambio di aria e l' intenso irraggiamento durante il periodo estivo, favoriscono le reazioni fotochimiche che conducono alla formazione di ozono. Per questo, per verificare in via preliminare la fattibilità di una rete di monitoraggio biologico dell' ozono in alta Italia, nel 1986 abbiamo allestito alcune stazioni per l' esposizione di piante indicatrici: per la sperimentazione sono state utilizzate piante di tabacco di una varietà particolarmente sensibile a questo inquinante.

Dalla nostra indagine risulta una maggior incidenza dell' inquinamento da ozono in siti rurali: ciò è dovuto al fatto che nei centri urbani vi è un alto tenore di monossido d' azoto che reagisce con l' ozono a dare biossido d' azoto e

ossigeno. Durante il trasporto delle masse d'aria si verificano le reazioni fotochimiche che portano ad una nuova formazione di ozono. Possiamo concludere che l' intensità dei danni fogliari ottenuti nei siti rurali è indicativa di



Tipi di portamento della chioma nell' abete rosso. A: a pettine; B: a spazzola; C: colonnare.

una situazione di potenziale rischio per le colture agricole.

Devo anche aggiungere che la metodologia adottata si è dimostrata funzionale e di relativamente semplice applicazione: i risultati preliminari dimostrano che piante bioindicatrici possono essere utilizzate per ottenere informazioni sulla presenza e distribuzione dell'ozono e per valutare i possibili rischi per la vegetazione.

Questo genere di biomonitoraggio può essere utilizzato in qualsiasi tipo di realtà territoriale o presenta dei limiti?

Come detto, l'ozono è considerato uno degli inquinanti più dannosi agli ecosistemi forestali a causa della sua elevata fitotossicità e delle alte concentrazioni che si possono determinare nel periodo primaverile-estivo. Lesioni fogliari visibili si verificano frequentemente in diverse regioni degli Stati Uniti su numerose specie di conifere e latifoglie; l'ozono è inoltre in grado di rallentare lo sviluppo di specie arboree anche in assenza di danni visibili.

Nell'87 abbiamo condotto un'esperienza di monitoraggio biologico in due zone alpine ma, nonostante le piante avessero sviluppato danni fogliari caratteristici dell'ozono per tutto il periodo considerato, non è stata trovata correlazione tra entità delle lesioni fogliari e concentrazione di ozono. In concomitanza di difficili condizioni climatiche, come basse temperature e sbalzi dell'umidità dell'aria, il danno fogliare sembrava seguire più l'andamento della temperatura che quello dell'ozono.

Ciò non stupisce se si considera che fattori quali il clima, influenzato a sua volta dall'altitudine, interagiscono in modo complesso con altri fattori quali lo stadio di sviluppo delle piante o l'eventuale presenza di altri inquinanti nell'aria: la risposta delle piante indicatrici ai fotoossidanti è la risultante di tutto ciò.

Nel campo della lotta all'inquinamento idrico si stanno sempre più sviluppando studi concernenti la fitodepurazione come mezzo non solo per ripulire l'acqua, ma anche per riciclare nutrienti di valore. Esiste qualche cosa di simile nel campo della lotta all'inquinamento atmosferico?

Sicuramente le essenze arboree in ambiente urbano giocano un ruolo purificatore molto importante: la loro azione filtro si compie nel trattenere polveri e particelle grazie alla ampia superficie della chioma esposta all'aria. Questa azione puramente meccanica è coadiuvata da una componente fisiologica di rimozione di zolfo e azoto dall'aria mediante l'assunzione attraverso gli stomi.

Può consigliare una bibliografia di base ai nostri lettori?

Una aggiornata esposizione divulgativa della problematica si trova nel volume di Giacomo Lorenzini *"Le piante e l'inquinamento dell'aria"*, della Edagricole. Più specialistico, in quanto dedicato prevalentemente agli aspetti della sintomatologia acuta di danno, è *"Inquinamento atmosferico e vegetazione"* di Mezzetti e coautori, sempre della Edagricole.

Sul problema del deperimento delle foreste segnalò il volume di Romano Gellini *"Danni forestali di nuovo tipo"* edito dalla Regione Toscana e, per chi desiderasse un approfondimento sui meccanismi e sulle cause, segnalò l'articolo di Blank et al. pubblicato su *"Nature"* del 3 novembre 1988 *"New perspectives in forest decline"*.

Segnalò, infine, il recente testo di Treshore *"Air pollution and plant life"*, edizioni Wiley & Sons.
