

## *Pioggia acida: fatti ed errori \**

Traduzione a cura di Gianfranco Scrinzi

Notizie circa le piogge acide pervengono normalmente al pubblico attraverso i mass media. In generale l'argomento viene trattato obiettivamente ma la complessità del fenomeno ha determinato alcune interpretazioni erranee ed emozionali dei fatti. Parecchie importanti controversie riguardano la difficoltà di determinare la rilevanza del problema delle piogge acide. Questo articolo tenta di identificare fatti ed errori, di presentare un punto di vista obiettivo delle controversie e di fornire informazioni per aiutare a capire cos'è la pioggia acida e come viene misurata. L'obiettivo è quello di aiutare i forestali a meglio valutare la reale minaccia incombente sugli ecosistemi forestali ed acquatici.

### **Pioggia acida: aspetto di un più vasto problema**

Il termine *pioggia acida* è stato reso popolare dai mass media come espressione del più corretto e generale termine di *deposizione atmosferica*. Quest'ultimo si riferisce ai materiali, liquidi, solidi o gassosi che, dall'atmosfera, pervengono alla superficie terrestre in forma liquida o secca. La deposizione liquida è costituita dalle sostanze disciolte in pioggia, neve, rugiada e nebbia. La deposizione secca riguarda invece la ricaduta di particelle di grandi dimensioni come sale marino, particelle di suolo, ceneri, particelle organiche e composti di aerosol o sospensione come il solfato o il nitrato di ammonio. Gas quali gli ossidi di zolfo e azoto, che sono direttamente assorbiti dal fogliame, dal suolo e dai corpi d'acqua, sono anch'essi trattati come deposizione secca.

La deposizione in forma liquida è più

facilmente campionabile e quantificabile e, per questa ragione, ha ricevuto più attenzione in termini di ricerca e di informazione pubblica. La deposizione secca, comunque, si propone sempre più come un problema ambientale perlomeno altrettanto serio e deve ricevere crescenti attenzioni.

Le sorgenti di deposizione atmosferica possono essere distinte in naturali ed antropiche. Esempi di materiali di origine naturale sono: il cloruro di sodio veicolato da goccioline d'acqua marina, particelle e gas di origine vulcanica o derivanti da incendi naturali, prodotti di reazioni biologiche quali metano e acido solfidrico ed infine particelle organiche quali polline e spore. Le maggiori sorgenti di origine antropica includono la combustione di carburanti fossili per generazione di corrente elettrica, riscaldamento e trasporti, l'attività mineraria e di raffinazione, l'attività estrattiva di superficie e l'attività agricola.

Il rapporto tra quantità di emissione di origine naturale e di origine antropica è lontano dall'essere definito, il che porta a diversità di opinioni circa la rilevanza relativa dei due tipi di emissione nella generazione delle piogge acide. A causa dei problemi di campionamento a livello regionale e globale le controversie, presumibilmente, non saranno risolte in tempi brevi. Nel frattempo l'attenzione è stata concentrata sulle sorgenti di origine antropica, la cui entità può essere valutata con una ragionevole accuratezza e le quali determinano interesse a causa della loro vastità e del loro continuo incremento. Ad esempio, gli

(\*) L'articolo riporta un'analisi della problematica delle piogge acide così come essa viene oggi vista in Nord America.

ossidi di zolfo e azoto sono ritenuti essere la maggiore causa della pioggia acida. Nel 1977 le emissioni stimate negli U.S.A. erano di 27 milioni di tonnellate per gli ossidi di zolfo e 23 milioni di tonnellate per gli ossidi di azoto (U.S. Agenzia per la protezione dell'ambiente - 1980).

Nel prossimo decennio è previsto un incremento delle immissioni di zolfo pari almeno al 25%, correlato al maggior impiego di carbone come combustibile al posto del petrolio. Anche la creazione di alti accumuli di tale materiale, al fine di ridurre la polluzione atmosferica locale, ha determinato, per contro, l'ampliamento dell'area di dispersione delle emissioni di origine antropica (WETSTONE - 1980, LIKENS and BORMANN - 1974).

## Cause

Una volta che le sostanze di emissione sono sospese nell'atmosfera, esse possono determinare pioggia acida nella misura in cui producono una elevata quantità di ioni idrogeno nelle precipitazioni. Gli ossidi di azoto e zolfo devono essere trasformati tra emissione ed eventuale dilavamento per produrre acido solforico ( $H_2SO_4$ ) ed acido nitrico ( $HNO_3$ ). Nelle precipitazioni questi acidi si dissociano fortemente in ioni idrogeno ( $H^+$ ), ioni solfato ( $SO_4^-$ ) ed in ioni nitrato ( $NO_3^-$ ) e si determina così la massiccia presenza degli ioni idrogeno ( $H^+$ ) che conferiscono il carattere acido alle precipitazioni. La presenza di acido cloridrico ( $HCl$ ) può a sua volta contribuire in tal senso, anche se soltanto su superfici molto prossime alla fonte di emissione cloridrica.

Questi acidi sono denominati «forti». Altre sostanze o composti in grado di originare ioni  $H^+$  sono: gli acidi organici, gli acidi carbonici, polveri o fumi e radicali  $NH_4$  solubilizzati. Questi però, a causa della loro scarsa tendenza a dissociare ioni  $H^+$  sono detti acidi «deboli». La cosa certa è che all'origine della pioggia acida sta, principalmente, la dissociazione di acidi forti (GALLOWAY e al., 1976).

I complessi fenomeni di trasporto dei materiali e delle trasformazioni che precedono la formazione degli acidi sono molto poco conosciuti. Per esempio, non è attualmente possibile provare che le piogge acide in New England siano il risultato di emissioni di una qualsiasi specifica area industriale del Midwest. Fino a che informazioni di questo tipo non saranno disponibili, tentativi legislativi o di altro tipo tendenti a controllare le sorgenti di origine antropica della deposizione atmosferica, avranno un successo limitato.

## Misurazione dell'acidità delle precipitazioni

Lo studio della chimica della precipitazione presenta numerose difficoltà metodologiche, a partire dal rilievo di campagna e fino alle analisi di laboratorio. Queste difficoltà vengono spesso evidenziate nelle dispute circa la reale rilevanza del problema delle piogge acide.

Il campionamento al fine delle analisi chimiche viene fatto mediante due tipi di collettori:

- (1) collettori costantemente aperti che raccolgono la deposizione atmosferica sia in forma secca che in forma umida;
- (2) collettori *wet-dry*, che dispongono di automatismi di separazione della deposizione in forma umida da quella in forma secca (fig. 1).

La scelta del tipo di apparecchiatura è importante. Per esempio, la chimica delle precipitazioni captate mediante collettori del primo tipo può essere influenzata dalle sostanze di deposizione secca accumulate sulla superficie del collettore e dilavate al suo interno durante scrosci temporaleschi di particolare intensità. Prescrizioni per ottenere e conservare campioni puliti e rappresentativi sono state date da LEWIS e GRANT (1978) e da GALLOWAY e LIKENS (1976).

L'acidità della precipitazione viene usualmente espressa in unità di pH, parametro che esprime una misura dell'attività

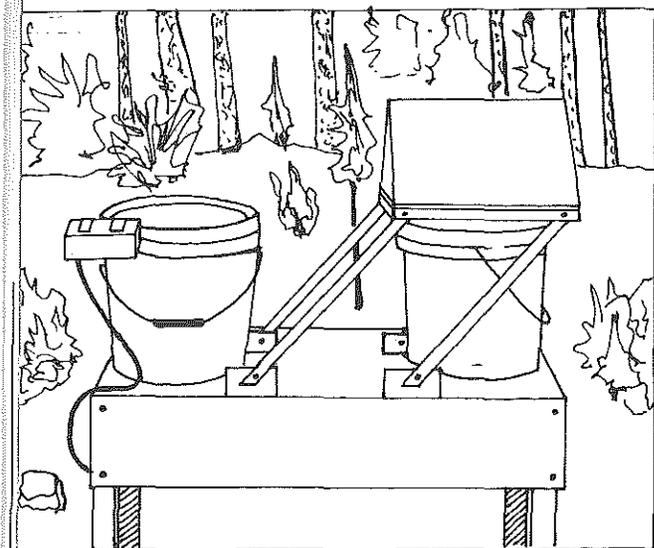


Figura 1. Collettore automatico wet-dry. Il contenitore a sinistra raccoglie la deposizione secca. Al momento della precipitazione la copertura si sposta automaticamente a sinistra, scoprendo il contenitore di destra per la raccolta della pioggia o della neve.

dagli ioni idrogeno (H). Brevemente si può dire che le precipitazioni sono «ionizzate» e cioè contengono particelle caricate elettricamente come gli ioni idrogeno (H) e gli ossidrili (OH). Quando le concentrazioni di tali ioni si equivalgono, la precipitazione è neutra e possiede un valore di pH pari a 7. La precipitazione diviene acida e cioè possiede una più elevata concentrazione di ioni idrogeno, per valori di pH inferiori a 7. Dal momento che pH è espresso in scala logaritmica, la concentrazione di H al variare di una unità di pH varia secondo un fattore 10.

Per esempio, una sostanza con pH 5 possiede 10 volte la concentrazione di idrogenioni, cioè è 10 volte più acida, di una sostanza con pH 6, mentre è 1000 volte meno acida di una sostanza con pH 3. Una importante conseguenza dell'uso della scala logaritmica è che i valori di pH non possono essere mediati come tali.

Infatti essi devono essere invece preliminarmente trasformati in valori di concen-

trazione di idrogenioni; quest'ultimi possono essere mediati e solo successivamente il valore medio ottenuto può essere nuovamente trasformato nel corrispondente valore di pH. Il pH di una precipitazione «pura» si colloca a circa 5,6, in presenza di equilibrio atmosferico di anidride solforica. La precipitazione acida possiede normalmente valori di pH compresi tra 3,5 e 5,6, ma, occasionalmente, anche valori inferiori a 3,0 (fig. 2).

Il metodo riconosciuto di misurazione del pH delle precipitazioni prevede l'impiego di elettrodi e di un millivoltmetro come misuratore della corrente emessa. Le precipitazioni raccolte vengono tamponate settimanalmente e le determinazioni sono lunghe e delicate. I tempi di risposta possono arrivare ai 5 minuti e fattori come la temperatura, il tasso di attività, il tipo di elettrodi impiegati e il livello di tamponazione, possono incidere sulla validità della misura.

Riassumendo, la determinazione del pH della precipitazione non si traduce in una semplice determinazione del tipo di quelle con le quali i forestali hanno avuto familiarità durante i loro corsi di studio di chimica e pedologia. È quindi molto importante che la metodologia venga standardizzata il più possibile. GALLOWAY e al. (1979) si occupano in dettaglio dei problemi che si pongono in questo tipo di determinazioni e riportano alcune raccomandazioni al fine di standardizzare le procedure.

Pur essendo il pH il valore certamente più conosciuto, altre analisi chimiche sono necessarie per caratterizzare pienamente le piogge acide. GALLOWAY e al. (1976) raccomandano infatti analisi sui cationi ed inoltre valutazioni circa gli acidi (sia forti che deboli) responsabili della dissociazione di ioni idrogeno. Siccome la pioggia acida presenta normalmente deboli concentrazioni di tali costituenti «primari», si rendono, nel caso, necessarie sofisticate strumentazioni e metodologie di laboratorio.

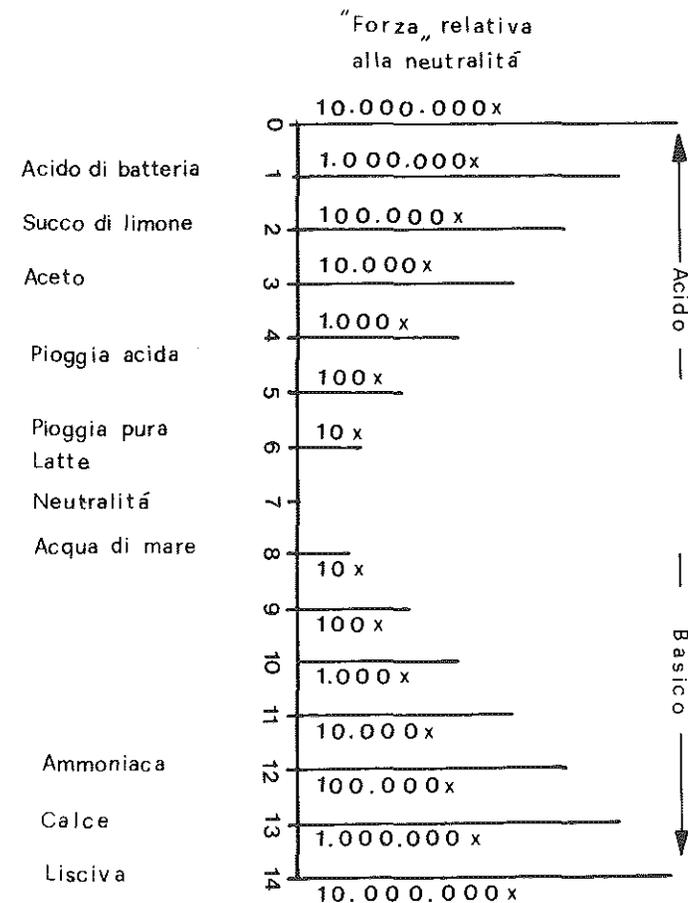


Figura 2. Scala di valori di pH con riportati i valori caratteristici di alcune comuni soluzioni.

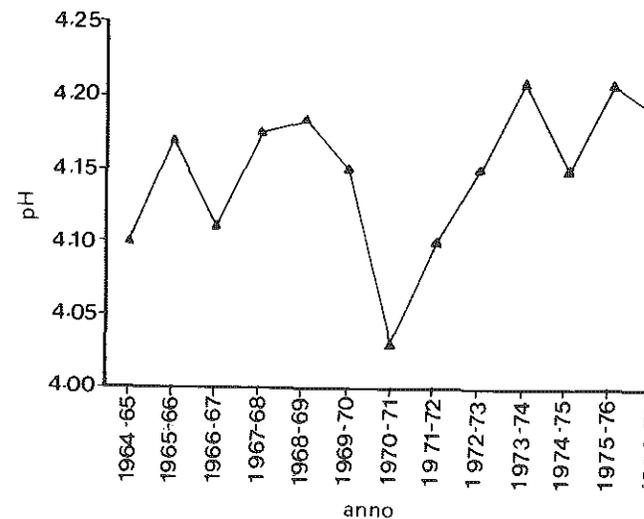


Figura 3. Valori medi annuali di pH delle precipitazioni a Hubbard Brook, New Hampshire (da LIKENS e al., 1980).

## Storia

Il fenomeno della pioggia acida raggiunse l'attenzione mondiale nel 1972, quando gli studiosi svedesi parlarono del problema come si presentava in Europa alla conferenza delle Nazioni Unite sull'Ambiente, tenuta a Stoccolma (BOLIN e al. 1971). L'esperienza Europea (ODEN - 1976), unitamente al fatto che eventi del genere erano già stati segnalati in molti Stati del nord degli U.S.A. (LIKENS e BORMANN - 1974), provocò una immediata attenzione in Nord America. Ulteriore interesse fu destato nel 1975 dal «Primo Simposio internazionale sulle precipitazioni acide e gli ecosistemi forestali», tenuto a Columbus, Ohio (DOCHINGER e SELIGA - 1976).

Un lavoro di LIKENS e BORMANN (1974) presenta dati relativi alla foresta sperimentale di Hubbard Brook nel New Hampshire. Questi dati derivano dalla più lunga rilevazione continua, inerente la chimica delle precipitazioni, che sia mai stata eseguita negli U.S.A.; i valori di pH (che sono fra i più bassi riscontrati nel Paese) indicano chiaramente quanto possa essere azzardato trarre conclusioni a partire da brevi periodi di osservazione. Per esempio, dall'analisi dei dati relativi al periodo 1967-1971 (fig. 3) si sarebbe potuto concludere che l'acidità delle precipitazioni andava continuamente aumentando (e di conseguenza il pH diminuiva). Considerazione esattamente opposta si sarebbe potuta trarre dall'osservazione limitata ai soli 4 anni successivi. Non esistono invece Trend significativi nel lungo periodo (1964-1977), come hanno evidenziato LIKENS e al. (1977, 1980).

L'assenza di trend significativi a Hubbard Brook solleva alcune controverse questioni. Per esempio, le precipitazioni stanno diventando più acide? Il fenomeno interessa superfici sempre più vaste? Da quando ha cominciato a manifestarsi? COGBILL e LIKENS (1974) e COGBILL

(1976) hanno pubblicato una serie di mappe riportanti isoiete di pH delle precipitazioni, stimato per l'est degli U.S.A. e per i periodi: 1955-56, 1972-73. Le mappe indicano che l'acidità delle precipitazioni sta aumentando ed il fenomeno va allargandosi in senso geografico. Le mappe sono spesso citate come prova dell'aggravamento del fenomeno, ma i metodi di campionamento adottati, le procedure di determinazione del pH, e le stazioni di rilevazione, variano da un periodo all'altro, lasciando aperta la possibilità di opinare. Risposte definitive devono venire da una rete di rilevazione e monitoraggio su grande scala, operando sul lungo periodo ed usando procedure standardizzate. Due sistemi di questo tipo sono stati recentemente resi operanti. Negli U.S.A., il Programma nazionale sulle disposizioni atmosferiche (N.A.D.P.) è stato costituito nel 1978. In Canada la Rete canadese di campionamento delle precipitazioni (CAN.S.A.P.) è stata invece approntata già nel 1976.

Per ora una cosa è certa: le precipitazioni si stanno acidificando su aree sempre più vaste. Infatti oltre alle segnalazioni provenienti dal nord-est degli U.S.A., altre sono pervenute dal sud (BREZONIK e al., 1980), dall'ovest (LEWIS e GRANT - 1980) e da vaste zone del Canada (SHAW - 1979, LIKENS e al., 1979).

D'altra parte le emissioni di origine antropica, ritenute essere responsabili delle precipitazioni acide, sono in continua espansione (COWLING - 1978, LIKENS e al., 1979).

## Effetti

Le piogge acide non sono solo portatrici di sostanze che liberano ioni idrogeno, quali gli acidi nitrici, solforici ed organici, ma contengono anche altri ioni disciolti, inclusi metalli comuni e pesanti e microelementi. In relazione a tale fatto, le piogge acide possiedono anche aspetti benefici quali portatrici di sostanze nutrienti come calcio, potassio, zolfo, azoto e microele-

menti, spesso in forma facilmente disponibile dalla vegetazione. Anche il risultato iniziale della lisciviazione del suolo può portare ad un certo arricchimento degli ecosistemi acquatici in ioni metallici come ad esempio in calcio. D'altro canto però, le piogge acide possono determinare un abbassamento della produttività, l'alterazione della composizione in specie vegetali e l'impoverimento degli ecosistemi terrestri, tramite l'incremento della lisciviazione degli ioni di sostanze nutrienti ed interferendo con i processi biologici legati alla decomposizione della materia organica.

I biologi e i biochimici convengono però sul fatto che gli effetti negativi sovrastano nettamente i potenziali benefici. Scherzosamente si è detto che il beneficio fornito dalle piogge acide è paragonabile a quello che si avrebbe ricoprendo un'intera cucina di marmellata per essere sicuri che una piccola parte di questa vada a finire sulla fetta di toast che stiamo preparando. In ogni caso le potenzialità avverse o benefiche sono difficilmente traducibili in termini economici.

I forestali si occupano normalmente di tre ambiti analisi: gli ecosistemi acquatici, il suolo e la vegetazione forestale. L'impatto potenziale delle piogge acide su queste tre entità sembra ora abbastanza ben definito (GALLOWAY e al., 1978). La discussione che segue si occupa dei principali aspetti riguardanti l'impatto del fenomeno a livello degli ambiti di studio citati. Ulteriori informazioni possono essere desunte dalla letteratura che si va rapidamente accumulando su questa tematica. DAILEY e WINSLOW (1980) hanno compilato una estesa bibliografia in proposito.

## Ecosistemi acquatici

Gli effetti delle piogge acide sugli ecosistemi acquatici sono attualmente la tematica principale di studio. Laghi e corsi d'acqua ricevono direttamente piogge acide, ma possono essere interessati anche indirettamente dal fenomeno come conse-

guenza degli impatti terrestri, quali l'incremento di mobilità e di lisciviazione delle sostanze nutrienti e tossiche. Poiché laghi e corsi d'acqua sono normalmente debolmente «tamponati», essi possono avere tempi di risposta più brevi di quelli degli ecosistemi terrestri, GORHAM e McFEE (1978) affermano che gli ecosistemi acquatici più sensibili al fenomeno possono mostrare effetti considerabili in qualche decina di giorni, al contrario di quanto si verifica per ecosistemi terrestri di analoga sensibilità, per i quali la scala temporale di risposta è probabilmente molto più lunga.

Un argomento prioritario di interesse è quello riguardante il tasso con il quale l'acidificazione degli ecosistemi acquatici può risultare accelerata. Parecchi studi indicano che l'acidità di specifici corsi d'acqua e laghi è aumentata negli ultimi anni (SCHOFIELD - 1976, BREZONIK ed al., 1980, ARNOLD ed al., 1980, WATT ed al., 1980). Il metodo di studio è stato quello di comparare i dati recenti sull'acidità con quelli rilevati in tempi precedenti. Questa procedura lascia peraltro spazio per dibattere sulle interpretazioni e conclusioni, in quanto i metodi di analisi e le intensità di campionamento normalmente differiscono fra i due insiemi di dati. Inoltre, essendosi rivelata una scarsa corrispondenza tra la chimica delle precipitazioni nel lungo periodo e l'acidificazione degli ecosistemi acquatici, il legame tra i due fenomeni sembra essere piuttosto accidentale.

Ulteriore interessante argomento di studio è stato l'impatto dell'accelerazione dell'acidificazione sulle popolazioni ittiche. Studi di SCHOFIELD (1976) nell'Adirondacks sono stati diffusamente citati come una illustrazione di cosa può accadere. Un rilievo condotto nella metà degli anni 70 su 217 laghi della zona citata, posti ad altitudini superiori ai 610 m s.l.m., mostra che l'effettivo di individui delle popolazioni ittiche decresce al diminuire del pH. Il 51% dei laghi in cui sono stati effettuati i rilievi avevano un pH minore di 5, e, di questi, il

90% non ospitano pesci. Del rimanente 49% dei laghi che presentavano pH più grande di 5, solo il 14% non ospitava pesci. L'assenza di popolazioni ittiche nel caso di bassi valori di pH, in alcuni casi può derivare direttamente dalla presenza di ioni idrogeno in grande quantità, ma è più verosimilmente legata a fattori correlati ai valori di pH, quali l'incremento di mobilità e concentrazione dei metalli tossici ed in particolar modo dell'alluminio (CRONAN e SCHOFIELD - 1979).

Gli ecosistemi acquatici sono particolarmente vulnerabili ad eventi episodici, influenti sull'acidità, un esempio dei quali è quello del flusso di acqua particolarmente acida che spesso accompagna precipitazioni nevose notevolmente umide (JEFFRIES ed al., 1979, JOHANNESSEN e HENRIKSEN - 1978). Nel caso della più documentata moria di pesci relativa ad un fenomeno di questo tipo, l'aumento dell'acidità del corso d'acqua durante una precipitazione del tipo citato, fu accompagnata da un incremento della concentrazione dei solfati e di altri componenti chimici, associato con la precipitazione acida (LEIVESTAD e MUNIZ - 1976).

La sensibilità degli ecosistemi acquatici è correlata alla capacità del bacino di fornire basi neutralizzanti. È quindi possibile stimare la suscettibilità o la resistenza di un lago all'acidificazione. CONROY e al. (1974) hanno elaborato un *indice di saturazione calcica* quale stima quantitativa della resistenza di un lago all'acidificazione. HENRIKSEN (1979) ha sviluppato un metodo che utilizza dati riguardanti il calcio e i solfati e l'alcalinità per fornire una stima del tasso con cui un lago si sta acidificando GALLOWAY e COWLING (1978) hanno prodotto una mappa delle regioni del Nord - America riguardante la sensibilità dei laghi all'accelerazione dell'acidificazione. Le regioni che si sono rivelate più suscettive, da questo punto di vista, includono il Northeast ed il Pacific. Northwest, dove grandi aree sono interessate da substrati rocciosi eruttivi e metamorfici.

A causa della debole alterabilità di queste rocce i laghi hanno una bassa capacità di neutralizzazione agli acidi minerali forti.

## Suoli

La graduale acidificazione del suolo è un fenomeno naturale in regioni ove le precipitazioni sono sufficienti a lisciviare i cationi basici, come ad esempio il calcio, dai livelli superficiali. La presenza di acidi minerali forti accelererebbe però la lisciviazione dei cationi basici ed aumenterebbe quindi la velocità di acidificazione (McFEE - 1978). Questo problema non è molto rilevante a livello dei suoli agrari, ove incrementi o decrementi dell'acidità del suolo, derivanti da fertilizzazioni o da calcitazione, normalmente risultano prevalere in termini di effetto su quelli derivanti dalle sostanze disciolte nelle precipitazioni. I suoli naturali risentono invece di tale problema e fra questi in particolare quelli poco profondi, a tessitura grossolana e tendenzialmente già carenti in cationi basici.

REUSS (1977), McFEE e al. (1977), hanno sviluppato teoricamente il problema dello scambio e della rimozione degli ioni, per stimare il potenziale di accelerazione dell'acidificazione. Molti fattori dovevano essere considerati, ma nelle loro condizioni sperimentali, precipitazioni di 90 mm/mese, in media, con un pH di 4,0 erano in gradi di diminuire il pH del suolo di  $0,05 \pm 0,1$  unità per decade. Tali cambiamenti graduali sono tuttavia difficili da accertare e da mettere in relazione agli effetti precursori di una accelerazione di acidificazione.

Questi effetti precursori del fenomeno sono l'incremento della lisciviazione degli ioni, il rallentamento dell'attività biologica, la semplificazione nella composizione della pedofauna, il decremento del relativo numero di individui ed infine l'incremento della mobilità degli elementi tossici. Questi effetti sono stati molto ben verificati in laboratori, creando artificialmente precipitazioni acide, ma sono molto più difficilmente accertabili nelle più complesse situazioni

dell'ambiente naturale (McFEE - 1978). Una possibile eccezione a tale affermazione è invece verificabile a carico della liberazione di elementi tossici e in particolare dell'alluminio. Studi di CRONAN e al. (1978) su bacini forestali d'alta quota del Northeast, mostrano che la chimica delle precipitazioni passate attraverso il suolo o i corsi d'acqua è ancora fortemente influenzata dall'acido solforico presente nella precipitazione già a livello atmosferico. Inoltre alte concentrazioni di alluminio possono essere presenti in soluzioni del tipo citato. Sembra quindi evidente che si tratta di un fenomeno strettamente legato all'incremento degli acidi minerali che si sta verificando nelle precipitazioni.

L'impatto sui suoli non è strettamente limitato all'acidità. Altre sostanze vengono trasferite dall'atmosfera ai suoli, in forma umida o secca, inclusi metalli quali: piombo, cadmio, rame, zinco e nichel. Mentre livelli già tossici di tali sostanze sono stati trovati solo in suoli vicini alle sorgenti urbane ed industriali di emissione di metalli, si sta sempre più evidenziando il fatto che il fenomeno di accumulo si sta comunque svolgendo anche a carico di suoli forestali (McFEE - 1978; SICCAMA ed al., 1980).

I suoli differiscono notevolmente nella suscettibilità agli effetti delle precipitazioni acide, McFEE ha approntato, per l'est degli U.S.A. una mappa preliminare della suscettività potenziale dei suoli, tramite l'indicazione della capacità di scambio e della presenza o dell'assenza di carbonati negli orizzonti superficiali. Fra i suoli più suscettibili alle precipitazioni acide sono da collocare quelli dei bacini d'alta quota nel Southeast, quelli superficiali di scarsa potenza degli altopiani Appalachiiani nel gruppo montagnoso dell'Adirondach ed infine i suoli grossolani ed acidi sviluppati su argille in New England.

## Vegetazione forestale

Sia indirettamente, attraverso cambiamenti del suolo, che direttamente, attra-

verso azioni sul fogliame, le piogge acide possono ridurre la produttività forestale ed alterare la composizione in specie. Gli impatti potenziali sono stati anche qui molto ben dimostrati a livello di campi sperimentali o laboratori (COWLING - 1978, ha pubblicato una lista di sperimentazioni effettuate), ma tali ricerche non sono ancora riuscite a ben evidenziare che cosa in realtà accada in condizioni naturali (COWLING - 1978, McFEE - 1978, TAMM - 1976).

Uno degli aspetti maggiormente studiati riguarda il fatto che danneggiamenti agli strati cuticolari che proteggono gli organi fogliari potrebbero portare a possibili alterazioni delle membrane cellulari, a stress idrici e alla lisciviazione delle sostanze minerali dalle superfici fogliari. Questa constatazione risulta da studi quali quelli di EATON e al. (1973) e LEE e WEBER (1980), i quali hanno dimostrato che la pioggia acida che passa attraverso le chiome viene parzialmente neutralizzata attraverso il dilavamento di cationi basici quali ad es. calcio e magnesio, mentre una certa quantità di idrogenioni liberi rimane a livello delle superfici fogliari. La sede di dilavamento ed il significato biologico di tali cationi, nonché il destino degli ioni idrogeno che rimangono a livello della chioma, rappresentano un aspetto della ricerca di prioritario interesse (HOFFMAN e al., 1980).

In uno studio che fornisce alcune indicazioni circa il livello al quale l'impatto delle precipitazioni acide diventa rilevabile, BOLTIN e ABER (1979) hanno usato un modello di simulazione di accrescimento per foreste di latifoglie del nord degli U.S.A. al fine di stimare gli effetti sulla produttività e sulla composizione in specie. La simulazione di una mortalità fogliare fino al 5,5%, corrispondente alla miglior stima di laboratorio dell'impatto prevedibile di precipitazioni acide, non ha causato, sempre a livello di simulazione, effetti significativi in termini di riduzione della produttività. Per determinare cambiamenti significativi nel

ruolo di una certa specie e nel livello totale di biomassa si è rivelata necessaria una riduzione dell'incremento della specie considerata variabile tra il 10 e il 25%. È risultato comunque evidente che gli effetti sulla vegetazione non sono certamente facilmente stimabili. Un problema ancora maggiore è costituito dal fatto che la metodologia di misura della produttività forestale su grande scala non sono ancora sufficientemente precise. Ulteriore complicazione è rappresentata dal fatto che il deperimento e la mortalità fogliare negli stadi iniziali può essere mascherata da un incremento di danni ascrivibili a normali patologie parassitarie (SHRINER - 1980).

Non sono stati ancora effettuati tentativi di delineare mappe della sensibilità dei vari tipi di foresta o delle specie forestali alle piogge acide.

### Cosa si sta facendo?

Le piogge acide rappresentano un dilemma. Ci sono ben pochi dubbi che esse siano il risultato, almeno in parte, di attività umane. Le sorgenti di inquinamento sono controllabili a vari livelli attraverso tecnologie di abbattimento della polluzione atmosferica e tramite il cambiamento delle fonti di energia, ma il costo di tali misure potrebbe essere enorme. Si determina così una certa riluttanza a prendere misure di limitazione volontarie o legislative, soprattutto fino a che non si conosceranno più precisamente fonti, estensioni ed effetti potenziali delle precipitazioni acide.

Esiste in verità una certa propensione a favorire la ricerca sulla tematica. Si stima che le Agenzie governative abbiano speso nel 1980 circa 5,6 milioni di dollari (n.d.r. circa 9,5 miliardi di lire in valore attuale) in tale tipo di ricerca e sono in elaborazione progetti legislativi tendenti ad aumentare gli stanziamenti in tal senso. Il Comitato Federale di Coordinamento sulle Piogge Acide (F.A.R.C.C.) è stato istituito nel 1980 sotto la corresponsabilità del Dipartimento dell'Agricoltura (U.S.D.A.) e del

l'Agenzia per Protezione dell'Ambiente (E.P.A.). Tale Comitato, così come è ora strutturato, costituisce un programma di ricerca sulle precipitazioni acide a livello interministeriale.

Tuttavia molti scienziati sono piuttosto scettici circa la possibilità di trovare risposte utili. Essi ritengono che il problema delle precipitazioni acide vada gradualmente amplificandosi, ma pensano che gli effetti, calati nella complessa realtà delle interazioni ecosistemiche, saranno piuttosto difficilmente quantificabili, specialmente in termini idonei a sostenere decisioni circa il controllo delle sorgenti di emissione.

Si auspicano pertanto soluzioni derivanti da nuove idee ed approcci. I tradizionali studi di campo e laboratorio e le simulazioni con i computer, stanno fornendo qualche idea circa le cause e le potenzialità del fenomeno, ma ciò non toglie che si avverta la necessità di nuovi concetti ed approcci.

### Il ruolo forestale

Le precipitazioni acide meritano certamente l'interesse dei forestali che affrontano tradizionalmente tematiche di ordine ambientale, anche se il problema che si pone in questo caso va considerato in maniera diversa a causa delle difficoltà di definizione che esso pone in termini di causa/effetto.

La ricerca forestale può contribuire molto al fine di chiarirne l'impatto ambientale. Come già visto, un programma di ricerca è già operante e riceverà impulso sempre maggiore in futuro. Le reti di monitoraggio, come quella messa in atto dal N.A.D.P., spesso interessano territori forestali e i tecnici forestali possono chiedere di partecipare alle operazioni di costituzione delle stazioni e di rilievo dei dati. D'altra parte, contromisure quali, il controllo delle sorgenti di emissione e la modificazione delle fonti energetiche non sono certo concetti nuovi per i forestali.

Per quelli di quest'ultimi non direttamente coinvolti nella ricerca sulle piogge acide sarà comunque necessaria attenzione e consapevolezza nei confronti del problema. Importanti progressi conoscitivi possono verificarsi nel corso dei prossimi anni. Proprio per questo, compito dei forestali è quello di tenersi aggiornati al fine di

poter contribuire ad assicurare che gli effetti negativi sull'ambiente possano essere ridotti al minimo.

Titolo originale: «ACID RAIN: FACTS AND FALLACIES»  
Journal of Forestry (S.A.F.) - Luglio 1981, pagg. 438-443

### BIBLIOGRAFIA

- Arnold D.E., R.W. Light, and V.J. Dymond 1980. Probable effects of acid precipitation on Pennsylvania waters. U.S. Environ. Prot. Agency EPA-600/3-80-012. 21 p.
- Bolin B., L. Granat, L. Ingelstam, M. Johannesson, E. Mattsson, S. Oden, H. Rohhe, and C.O. Tamm 1971. Air pollution across national boundaries. Rep. of Swedish Prep. Comm. for the U.N. Conf. on Human Environ. Norstedt and Sons. Stockholm 97 p.
- Botkin D.B., and J.D. Aber 1979. Some potential effects of acid rain on forest ecosystems: implications of a computer simulation. U.S. Dep. Energi Brookhaven Nat. Lab. BNL 50889 12p.
- Belzoni P.L., E.S. Edgerton, and C.D. Hendry 1980. Acid precipitation and sulfate deposition in Florida. Science 208:1027-1029.
- Cogbill C.V. 1976. The history and character of acid precipitation and the Forest Ecosystem. L.S. Dochinger and T.A. Seliga (eds.) USDA For Serv. Gen. Tech. Rep. NE-23.
- Cogbill C.V., and G.E. Likens 1974. Acid precipitation in the northeastern United States. Water Resour. Res. 10:1133-1137.
- Conroy N., D.S. Jeffries, and J.R. Kramer 1974. Acid shield lakes in the Sudbury Ontario region. P. 45-60 in Proc. 9th Can. Symp. on Water Pollut. Res. in Can.
- Cowling E.B. 1978. Effects of acid precipitation and atmospheric deposition on terrestrial vegetation. P. 46-64 in S National Program for Assessing the Problem of Atmospheric Deposition (Acid Rain). J.N. Galloway et al. (eds.) Nat. Resour. Ecol. Lab. Colorado State Univ. Fort Collins.
- Cronan C.S., W.A. Reiners, R.C. Reynolds, Jr., and G.E. Lang 1978. Forest floor leaching: contributions from mineral organic, and carbonic acids in New Hampshire subalpine forests. Science 200:309-311.
- Cronan C.S., and C.L. Schofield 1979. Aluminum leaching response to acid precipitation: effects on high elevation watersheds in the Northeast. Science 204:305-306.
- Dailey N.S., and S.G. Winslow 1980. Health and environmental effects of acid rain: an abstracted literature collection. 1966-1979. Oak Ridge Natl. Lab. NLMTIRC 80/1. 202 p.
- Dochinger L.S., and T.A. Seliga (eds.) 1976. Proc. 1st. Symp. on Acid Precipitation and the Forest Ecosystem. U9DA For. Serv. Gen. Tech. Rep. NE-23. 1.074 p.
- Eaton J.S., G.E. Likens, and F.H. Bormann 1973. Throughfall and stemflow chemistry in a northern hardwood forest. J. Ecol. 61:495-508.
- Galloway J.N., B.J. Cosby Jr., and G.E. Likens 1979. Acid precipitation: measurement of pH and acidity. Limnol. Oceanogr. 24:1161-1165.
- Galloway J.N., and E.B. Cowling 1978. The effects of precipitation on aquatic and terrestrial ecosystems: a proposed precipitation chemistry network. J. Air Pollut. Control. Assoc. 28:229-235.
- Galloway J.N., E.B. Cowling, E. Gorham, and W.W. McFee 1978. A National Program for Assessing the Problem of Atmospheric Deposition (Acid Rain). Nat. Resour. Ecol. Lab. Colorado State Univ., Fort Collins. 97 p.
- Galloway J.N., and G.E. Likens 1976. Calibration of collection procedures for the determination of precipitation chemistry. P. 137-156 in Proc. 1st. Int. Symp. Acid Precipitation and the Forest Ecosystem. L.S. Dochinger and T.A. Seliga (eds.) USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. NE-23.
- Galloway J.N., G.E. Likens, and E.S. Edgerton 1976. Acid precipitation in the northeastern United States: pH and acidity. Science 194:722-724.
- Gorham E., and W.W. McFee 1978. Effects of acid deposition upon outputs from terrestrial to aquatic ecosystems. P. 74-94 in A National Program for Assessing the Problem of Atmospheric Deposition (Acid Rain). James N. Galloway et al. (eds.) Nat. Resour. Ecol. Lab. Colorado State Univ., Fort Collins.
- Henriksen A. 1979. A simple approach for identifying and measuring acidification of freshwater. Nature 278:542-545.
- Hoffman W.A., Jr., S.E. Lindberg and R.R. Turner 1980. Precipitation acidity: the role of the forest canopy in acid exchange. J. Environ. Qual. 9:95-100.
- Jeffries D.S., C.M. Cox, and P.J. Dillon 1979. Depression of pH in lakes and streams in central Ontario during snowmelt. J. Fish. Res. Board Can. 36:640-646.
- Johannesson M., and A. Henriksen 1978. Chemistry of snow meltwater changes in concentration during melting. Water Resour. Res. 14:615-619.
- Johnson A.H. 1979. Evidence of acidification of headwater streams in the New Jersey pinelands. Science 206:834-836.
- Lec. J.J., and D.E. Weber 1980. Effects of sulfuric acid rain on two model hardwood forests: throughfall, litter leachate and soil solution. U.S. Environ. Prot. Agency EPA-600/3-80-014. 39 p.
- Leivestad H., and I.P. Muniz 1976. Fish kill at low pH in a Norwegian river. Nature 259:391-392.
- Lewis W.M., Jr., and M.C. Grant 1978. Sampling and chemical interpretation of precipitation for mass balance studies. Water Resour. Res. 14:1098-1104.
- Lewis W.M. Jr., and M.C. Grant 1980. Acid precipitation in the western United States. Science 207:176-177.
- Likens G.E., and F.H. Bormann 1974. Acid rain: a serious environmental problem. Science 184:1176-1179.
- Likens G.E., F.H. Bormann R.S. Pierce, J.S. Easton, and N.M. Johnson 1977. Biogeochemistry of a forested Ecosystem. Springer-Verlag. New York. 146 p.
- Likens G.E., R.F. Wright, J.N. Galloway, and T.J. Butler 1979. Acid rain. Sci. Am. 241:43-51.
- Likens G.E., F.H. Bormann, and J.S. Easton 1980. Variations in precipitation and streamwater chemistry at the Hubbard Brook Experimental Forest during 1964 to 1977. P. 443-464 in Effects of Acid Precipitation on Terrestrial Ecosystem. T.C. Hutchinson and M. Havas (eds.) Plenum Press. Corp., New York.
- McFee W.W. 1978. Effects of acid precipitation and atmospheric deposition on soils. P. 64-74 in A National Program for Assessing the Problem of Atmospheric Deposition (Acid Rain). J.N. Galloway et al. (eds.) Nat. Resour. Ecol. Lab. Colorado State Univ., Fort Collins.
- McFee W.W. 1980. Sensitivity of soil regions to acid precipitation. U.S. Environ. Prot. Agency EPA-600/3-80-013. 179 p.
- McFee W.W., J.M. Kelly, and R.H. Beck 1977. Acid precipitation effects on soil pH and base saturation of exchange site. Water. Air. and Soil Pollut. 7:401-408.
- Oden S. 1976. The acidity problem an outline of concepts. P. 1-36 in Proc. 1st. Int. Symp. on Acid Precipitation and the Forest Ecosystem. L.S. Dochinger and T.A. Seliga (eds.) USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. NE-23.
- Reuss J.O. 1978. Simulation of nutrient loss from soils due to rainfall acidity. U.S. Environ. Prot. Agency EPA-600/3-78-053. 45 p.
- Schofield C.L. 1976. Acid precipitation: effects on fish. Ambio 5:228-230.
- Shaw R.W. 1979. Acid precipitation: in Atlantic Canada. Environ. Sci. Technol. 13:406-411.
- Shriner D.S. 1980. Vegetation surfaces: a platform for pollutant/parasite interactions. P. 259-272 in Polluted Rain. T.Y. Toribara, M.W. Miller, and P.E. Morrow (eds.) Plenum Press. New York.
- Siccama T. G., W.H. Smith, and D.L. Mader 1980. Changes in lead, zinc, and copper, dry weight and organic matter content of the forest floor of white pine stands in central Massachusetts over 16 years. Environ. and Technol. 14:54-56.
- Tamm C.O. 1976. Acid precipitation: biological effects in soil and on forest vegetation. Ambio 5:235-238.
- U.S. Environmental Protection Agency 1980. Acid rain. U.S. Environ. Prot. Agency EPA-600/9-979-036. 36 p.
- Watt W.D., D. Scott, and S. Ray 1980. Acidification and other chemical changes in Halifax County lakes after 21 years. Limnol. Oceanogr. 24:1154-1161.
- Westone G. 1980. Air pollution control laws in North America and the problem of acid and snow. Environ. Law Rep. 10:50001-50020.