l'acqua dal cielo

La chimica e la fisica delle deposizioni atmosferiche

foto Ti-press / Samuel Golay

Alberto Barbieri, Stefano Pozzi

L'emissione in atmosfera di grandi quantità di sostanze derivanti dai processi di combustione ha modificato nel corso degli ultimi decenni le caratteristiche chimico-fisiche delle deposizioni atmosferiche, causando in genere un aumento dell'acidità delle piogge ed un incremento delle deposizioni delle sostanze azotate. I precursori delle piogge acide sono costituiti principalmente dagli ossidi di zolfo (SO_2), dovuti allo zolfo presente nei combustibili fossili, dagli ossidi di azoto (NO e NO_2), derivanti soprattutto dalle emissioni del traffico veicolare e infine dall'azoto ammoniacale (NH_4^+), proveniente principalmente dalle attività zootecniche (allevamenti intensivi di bestiame) e dall'utilizzo dei fertilizzanti agricoli.

Con il manifestarsi dei primi effetti tangibili prodotti dalle «piogge acide» nelle regioni dell'Europa settentrionale nel corso degli anni '60, l'interesse per i problemi legati all'acidificazione e alla sovrafertilizzazione di azoto è cresciuto notevolmente, e numerose attività scientifiche sono state finalizzate alla stima dei carichi dei composti acidificanti e fertilizzanti ed alla valutazione dei carichi tollerabili dai diversi ecosistemi (carichi critici). Il Cantone Ticino è risultato essere la regione più sensibile della Svizzera, poiché presenta sul suo territorio numerosi ecosistemi vulnerabili alle deposizioni atmosferiche di inquinanti. Inoltre, esso è soggetto ad elevati carichi di composti acidificanti e composti azotati trasportati dalle masse d'aria provenienti da sud che, lungo il loro percorso, si arricchiscono delle sostanze emesse nei territori densamente abitati e caratterizzati da un'intensa attività umana (traffico, industrie, agricoltura e allevamento animali) del Nord Italia.

A partire dal 1982, l'Ufficio Protezione e Depurazione Acque (UPDA), Sezione Protezione Aria, Acqua e Suolo (SPAAS) ha avviato la raccolta sistematica degli eventi di precipitazione settimanale nel Cantone Ticino. Nel corso degli anni le stazioni sono state aumentate da due, Lugano e Locarno, a sette, con l'aggiunta di Stabio, Brè, Piotta, Acquarossa e Robiei (v. lo schema A). Le stazioni sono ubicate lungo l'asse sud-nord a diverse quote altimetriche, comprese tra 190 e 1.890 m s.l.m. Prima del 1985 per il prelievo delle precipitazioni sono stati utilizzati campionatori di tipo *bulk*, che raccoglievano sia la deposizione secca sia quella umida, mentre in seguito sono stati impiegati campionatori automatici di tipo *wet-only*, dedicati esclusivamente alla deposizione umida.

La qualità dei dati chimici è stata sempre verificata mediante controlli interni al laboratorio. Per garantire l'attendibilità dei risultati analitici e la confrontabilità con altri laboratori, a partire dal 1983 sono stati inoltre condotti annualmente esercizi di intercalibrazione svolti nell'ambito di alcuni programmi di ricerca internazionale [v. ad es. Novo, 1987; Mosello et al., 1998; Håvind, 2001].

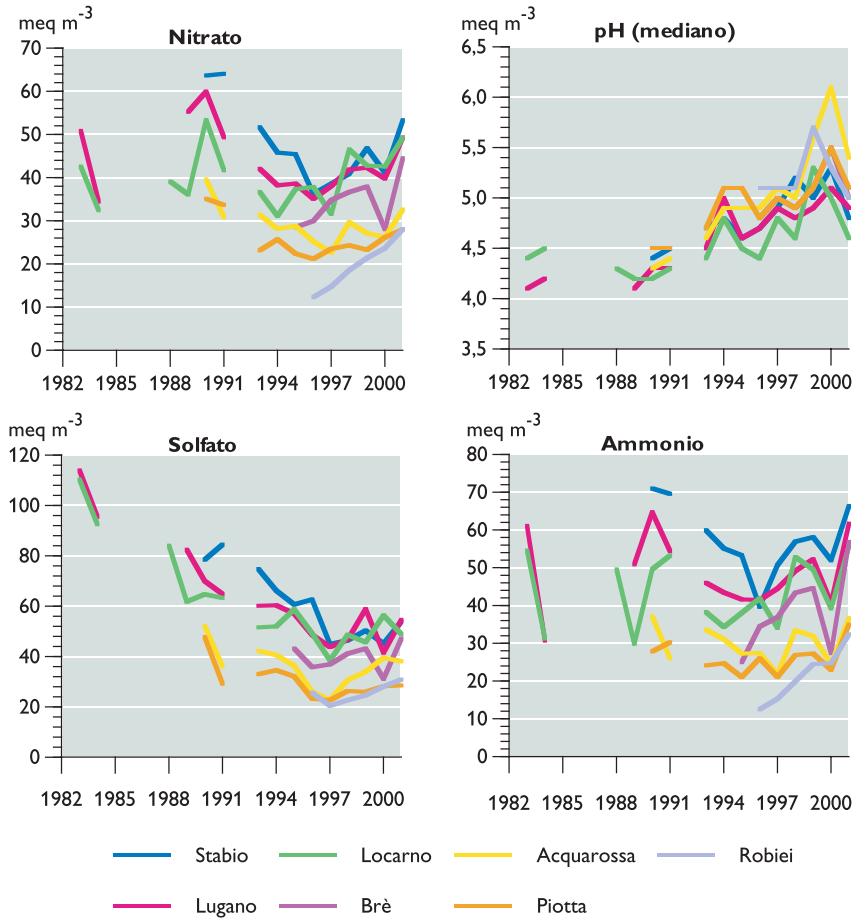
A partire dal 1985 è stata inoltre allestita dalla SPAAS una rete per la misura delle

A Caratteristiche geografiche, periodi di funzionamento e tipologia delle stazioni di prelievo delle deposizioni atmosferiche

Stazione di prelievo	Coordinate CH Nord	Coordinate CH Est	Altitudine m slm	Periodo di campionamento	Tipologia
Stabio	77970	716040	353	1990-1991; 1993-2001	Rurale
Lugano	95870	717880	273	1982-1985; 1989-1991; 1993-2001	Urbana
Brè	96470	719900	925	1995-2001	Rurale
Locarno	114350	704160	366	1982-1985; 1988-1991; 1993-2001	Urbana
Acquarossa	143984	682540	575	1990-1991; 1993-2001	Rurale
Robiei	146440	714998	1890	1996-2001	Alpina
Piotta	152500	694930	1007	1990-1991; 1993-2001	Alpina

«Il Cantone Ticino è risultato essere la regione più sensibile della Svizzera...»

B PH mediano e concentrazioni medie annue ponderate delle specie ioniche di natura antropica contenute nelle precipitazioni delle sette stazioni di campionamento del Cantone Ticino, dal 1982



immissioni gassose dislocata nelle regioni di pianura del territorio cantonale. Nel corso del periodo compreso tra settembre 1998 e settembre 2000 è stata inoltre condotta, con il finanziamento dell'Ufficio Federale dell'Ambiente, delle Foreste e del Paesaggio (UFAFP), una campagna di campionamento dei composti dello zolfo e dell'azoto in forma gassosa e di aerosol in due stazioni di alta quota (Robiei e Piotta, rispettivamente 1890 e 1010 m s.l.m.) [Barbieri e Pozzi, 2001].

Le concentrazioni medie ponderate annuali dei diversi ioni sono in genere più elevate nelle stazioni meridionali di pianura (Stabio, Lugano e Locarno) e più basse in quelle settentrionali e ad alta quota (Piotta, Acquarossa e Robiei; v. graf. B). In tutte le stazioni nelle piogge è stata registrata, tra gli anni '80 ed primi anni '90, a seguito dell'introduzione di alcuni provvedimenti legislativi per la riduzione del tenore di zolfo negli oli combustibili, una riduzione di circa il 60% delle concentrazioni di solfato, che sono passate ad esempio a Lugano e Locarno da circa 110 meq m^{-3} (1983) a poco più di 40 meq m^{-3} (1997) ed a Piotta sono diminuite da circa 50 meq m^{-3} (1990) a 22 meq m^{-3} (1997). Negli ultimi anni (a partire dal 1997) le concentrazioni medie annuali del solfato sono invece aumentate, passando ad esempio a Robiei da circa 20 (1997) a 30 meq m^{-3} (2001). Diversamente dal solfato, le concentrazioni dei composti dell'azoto (nitrato e ammonio) non hanno mostrato un andamento significativo fino a metà degli anni '90, mentre a partire dal 1995-1996 sono aumentate, passando ad esempio a Robiei e Locarno da circa 13 e 35 meq m^{-3} (1995) a rispettivamente circa 30 e 50 meq m^{-3} (2001). L'aumento del nitrato nell'ultimo quinquennio, nonostante la progressiva diffusione dei veicoli dotati di marmitta catalitica, è attribuibile all'incremento di traffico registrato nel corso degli ultimi anni.

A causa della riduzione dei valori di solfato, le concentrazioni di acidità misurata delle piogge sono diminuite nel corso degli ultimi 20 anni, con un conseguente incremento dei valori di pH. I valori annuali di pH (mediani) sono infatti aumentati di 0,5-0,7 unità (v. graf. B), attestandosi negli ultimi anni attorno a valori compresi tra 4,6 e 5,5. Tuttavia i pH rilevati nel 2001 hanno mostrato valori simili a quelli misurati nel corso della metà degli anni '90.

Nonostante l'acidità delle piogge sia diminuita nel corso del periodo di studio, circa l'80% degli eventi settimanali di precipitazione mostra tuttora pH inferiori a quello naturale delle piogge (5,6). Accanto a questi eventi a carattere acido, annualmente si sono verificati 3 o 4 eventi di precipitazione con concentrazioni di alcalinità relativamente elevate per la presenza di sabbie sahariane.

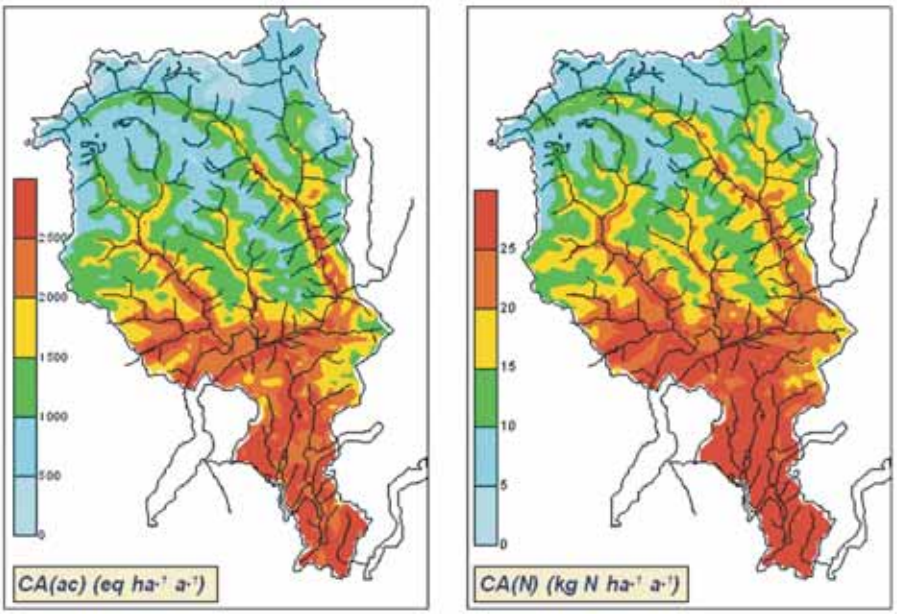
Per poter stimare i carichi di acidità e di azoto ai quali sono soggetti i diversi ecosistemi è necessario poter disporre di alcuni modelli in grado di stimare con una certa precisione le deposizioni umide e le deposizioni secche (gas ed aerosol) dei composti inquinanti per ogni km^2 del territorio cantonale.

Per le deposizioni umide è stato definito un modello empirico lineare che considera la presenza di una sorgente diffusa ed articolata (agglomerati urbani, traffico industria ed agricoltura) nella Pianura Padana e presuppone teoricamente che le concentrazioni di inquinanti diminuiscano con la distanza (latitudine N, longitudine E ed altitudine). L'utilizzo di questi modelli, partendo da mappe dettagliate del territorio cantonale e della quantità di precipitazioni [SAEFL, 2001], ha permesso di costruire le mappe delle concentrazioni e delle deposizioni degli ioni con risoluzione di 1 km^2.

Per le deposizioni secche (gas ed aerosol) sono stati utilizzati alcuni modelli empirici

«In tutte le stazioni nelle pioggie è stata registrata una riduzione di circa il 60% delle concentrazioni di solfato.»

C Carico Attuale di acidità ($CA_{(ac)}$) e Carico Attuale di composti dell'azoto ($CA_{(N)}$) nel Cantone Ticino per il periodo 1993-1998



che tengono conto delle differenze delle deposizioni nei diversi ecosistemi (campi coltivati, foreste, laghi alpini, ecc.), della dispersione dalle principali fonti di emissione e del gradiente con la quota degli inquinanti [FOEFL, 1994; SAEFL, 2001].

Il Carico Attuale di acidità ($CA_{(ac)}$) è una stima quantitativa del carico di acidità definita dalla differenza tra la somma dei composti dell'azoto e dello zolfo e la somma dei cationi base non marini (calcio, magnesio e potassio) depositati al suolo attraverso le deposizioni umide, gassose e di aerosol su ricettori ambientali specifici [FOEFL, 1994]:

$$CA_{(ac)} = CA(SO_4^{2-}; SO_2; NO_3^-; HNO_3; NO_2; NH_4^+; NH_3) - CA(Ca^{2+}; Mg^{2+}; K^+)$$

dove $CA(SO_4^{2-}; SO_2; \ldots)$ sono le deposizioni dei rispettivi composti (eq ha^{-1} a^{-1}).

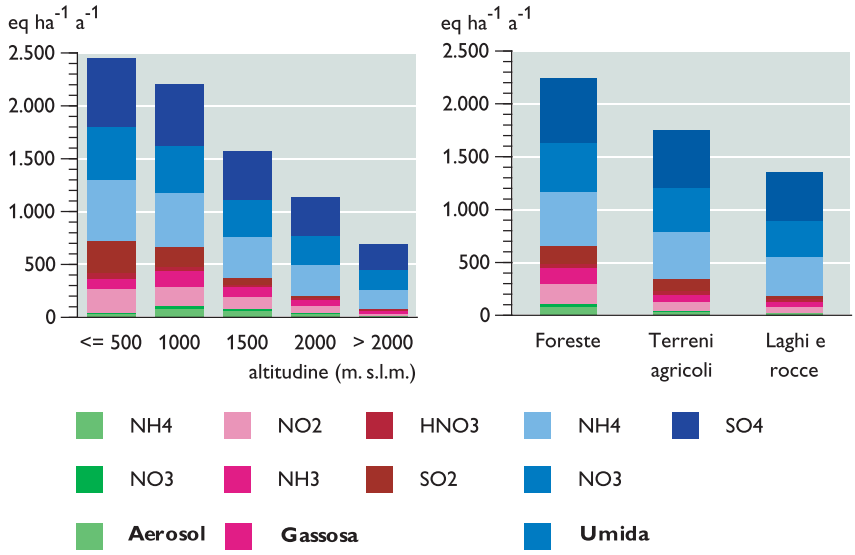
Con questa stima viene considerato anche il rilascio di acidità dovuto ai processi di trasformazione che coinvolgono i composti ridotti dell'azoto (NH_4^+ e NH_3) a livello dei recettori ambientali.

Il Carico Attuale dei composti dell'azoto ($CA_{(N)}$) è invece definito come la somma delle deposizioni atmosferiche dei composti ossidati (NO_3-; HNO_3; NO_2) e ridotti dell'azoto (kg ha^{-1} a^{-1}).

Le mappe del carico attuale di acidità e dei composti azotati con risoluzione di 1 km*1 km (v. cartina C) sono state ottenute sommando per ogni singola cella (1 km^2) i valori delle deposizioni umide e secche (gas e aerosol) ottenuti con i modelli descritti precedentemente. Nel Cantone Ticino il $CA_{(ac)}$ e il $CA_{(N)}$ mostrano valori molto elevati nelle zone meridionali a bassa quota (rispettivamente circa 2.500 eq ha^{-1} a^{-1} e 15-20 kg N ha^{-1} a^{-1}) e valori più contenuti nella regione alpina a quote superiori a 1.500 m slm (circa 1.000 eq ha^{-1} a^{-1} e 5-10 kg N ha^{-1} a^{-1}; v. graf. C). Per quanto riguarda gli ecosistemi, le deposizioni di acidità più elevate sono state registrate per le foreste (circa 2.250 eq ha^{-1} a^{-1}) e quelle più basse per i laghi alpini (circa 1.300 eq ha^{-1} a^{-1}; v. graf. D). D'altra parte i carichi critici per i diversi ecosistemi diminuiscono con l'aumentare dell'altitudine [FOEFL, 1996]; pertanto il carico di azoto supera di circa il 100% i valori critici su tutto il territorio cantonale, mentre il carico acidificante supera i valori tollerabili nelle regioni di montagna del 100-500%.

Oggi il contributo dei diversi tipi di deposizione al CA(ac) (v. graf. D) è dovuto mediamente per il 76% alle deposizioni umide (70% al di sotto dei 500 metri di altitudine e quasi il 90% al di sopra dei 2.000 metri), per il 20 % alle deposizioni gassose (meno dell'1% ad altitudini superiori ai 2.000 metri) e per il 4% agli aerosol (6% per gli ecosistemi forestali). Le sostanze inquinanti che contribuiscono al CA(ac) sono rappresentate nell'ordine dai composti dello

D Contributo al carico attuale acidificante ($CA_{(ac)}$) delle deposizioni umide, gassose e di aerosol per il periodo 1993-1998 in funzione dell'altitudine ed in relazione ad alcuni ecosistemi



zolfo (36%), da quelli dell'azoto ridotto (32%) e da quelli dell'azoto ossidato (32%).

Lo studio delle caratteristiche delle deposizioni umide nel Cantone Ticino, iniziato nel 1982, rappresenta oggi uno strumento indispensabile per valutare la deposizione atmosferica totale a livello del suolo. Attraverso questo studio è stato possibile valutare come gli ecosistemi alpini e le foreste siano ancora soggette ad elevate deposizioni acidificanti e fertilizzanti (sostanze azotate). Per diminuire gli effetti nocivi esercitati sugli ecosistemi dagli inquinanti presenti nelle deposizioni atmosferiche appare perciò necessaria una nuova politica di riduzione delle emissioni dei composti dell'azoto, responsabili della sovrafertilizzazione degli ecosistemi e di quasi il 65% dell'acidità delle deposizioni atmosferiche. Per conseguire questo risultato gli interventi dovranno comprendere la riduzione delle emissioni degli ossidi di azoto, dovuti in particolare al traffico veicolare, e quella dei composti ammoniacali, derivanti principalmente dall'agricoltura e dall'allevamento intensivo sia a livello cantonale che della Pianura Padana. ■

Bibliografia

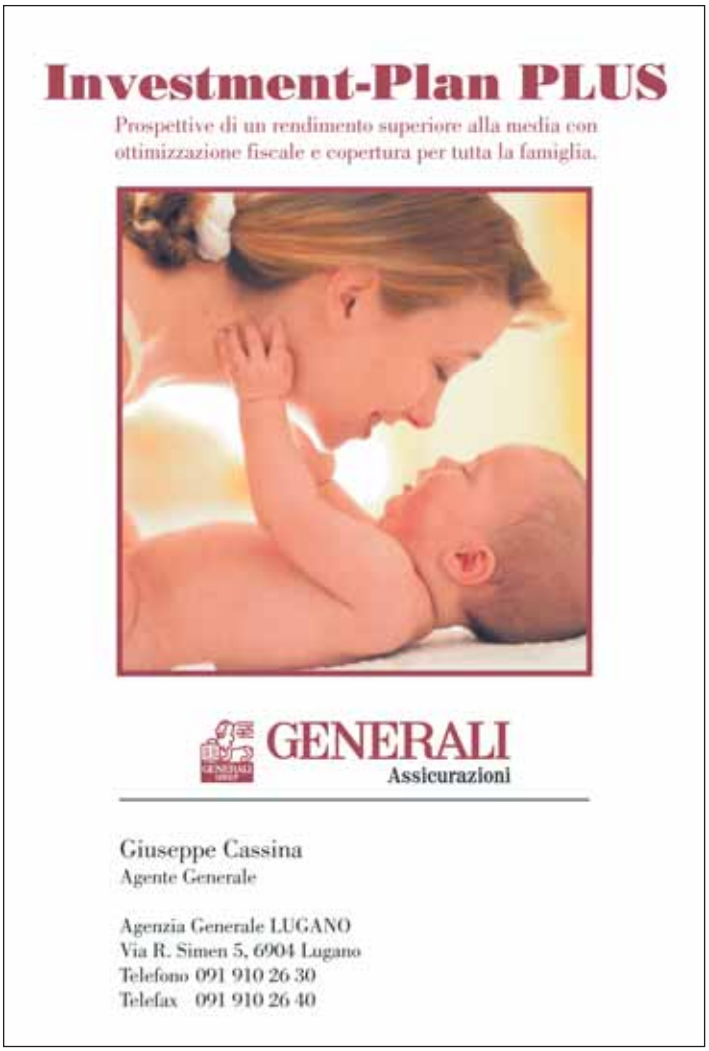
Barbieri. A.; Pozzi S.: Acidifying Deposition. Southern Switzerland. Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL), Environmental documentation No. 134, Air, 113 p., 2001.

Barbieri, A.; Pozzi, S.: High mountain total deposition, Southern Switzerland. Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL), Internal report, 50 p., 2001.

Håvind, H.: Intrcomparaison 0015. pH, conductivity, alkalinity, nitrate + nitrite, chloride, sulfate, calcium, magnesium, sodium, potassium, total aluminium, reactive and non-labile aluminium, total organic carbon, and chemical oxygen demand, iron, manganese, cadmium, lead, copper, nickel and zinc. NIVA-Report SNO 4416-2001, ICP-Waters Report 64/2001, 81 p., 2001

Mosello, R. et al.: Acid Rain Analysis. Intercomparison 1/97, AQUACON-MedBas Project, Subproject N0. 6. EUR 18135 EN, European Communities, 65 p., 1998

Novo A.: Deposizioni atmosferiche nel Nord Italia. Rapporto finale anni 1983-1984, Quaderni di Ingegneria Ambientale, Inquinamento e depurazione, 6, 63 p., 1987.

Rihm, B.: Critical Loads of Acidity for Forest Soils and Alpine Lakes - Steady State Mass Balance Method. Federal Office of Environment, Forests and Landscape (FOEFL), 234, 68 p., 1994.

Rihm, B.: Critical Loads of Nitrogen and their Exceedances - Eutrophying Atmospheric Deposition. Federal Office of Environment, Forests and Landscape (FOEFL), 275, 74 p., 1996.