

Le piogge acide

Confrontando le foto di alcuni monumenti in bronzo o in pietra calcarea scattate in tempi diversi, si può osservare come diventino sempre più evidenti i segni di corrosione (figura 1). Le cause di questi processi, che portano tra le altre cose, notevoli danni al patrimonio artistico, vanno ricercate nel fenomeno chiamato piogge acide.

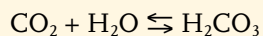
*Con il termine **piogge acide** si intende il processo di ricaduta dall'atmosfera di particelle, gas e precipitazioni a composizione acida.*

Generalmente quando si parla di piogge acide ci si riferisce alle deposizioni che avvengono sotto forma di precipitazioni (pioggia, neve, rugiada), senza considerare che la deposizione di sostanze acide può avvenire anche attraverso particelle.

*La **deposizione acida umida** si ha quando la ricaduta delle sostanze acide avviene tramite le precipitazioni, mentre se il fenomeno consiste in una ricaduta di particelle si ha la **deposizione acida secca**.*

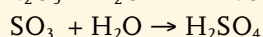
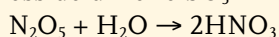
Il fenomeno è stato osservato per la prima volta in Gran Bretagna alla fine dell'Ottocento, ma solo a partire dalla fine degli anni '60 del secolo scorso è stato studiato in maniera approfondita.

È importante sottolineare che *il pH naturale dell'acqua piovana non è 7, come ci si aspetterebbe, ma ha un valore attorno a 5,5*. Questo perché l'aria contiene diossido di carbonio CO_2 , un ossido acido che si discioglie in acqua producendo acido triossocarbonico H_2CO_3 secondo la reazione:



In assenza di altre sostanze il sistema è tamponato dalla coppia $\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$ a un pH attorno al valore di 5,5, che varia a seconda dei valori di pressione e di temperatura. Per questo motivo *viene considerata acida una pioggia che presenta un pH inferiore a 5* (figura 2).

L'acidificazione delle precipitazioni deriva dalla formazione di due acidi forti, l'acido triossidrico (V) HNO_3 e l'acido tetraossosolfurico (VI) H_2SO_4 , che si formano dalla reazione con acqua rispettivamente del pentossido di diazoto N_2O_5 e del triossido di zolfo SO_3



Questi due acidi forti provocano una forte diminuzione del pH, che si aggiunge a quella dovuta all' H_2CO_3 .

Il triossido di zolfo si forma nell'atmosfera per ossi-

dazione del diossido di zolfo SO_2 , che si origina durante la combustione dei combustibili fossili contenenti zolfo. Allo stesso modo in atmosfera viene immesso diossido di azoto NO_2 , che reagisce fino a formare N_2O_5 .

Le piogge acide non hanno effetti diretti sull'uomo, ma possono recare notevoli danni ai materiali, agli ecosistemi e alle piante (figura 3).



figura 1 L'impatto distruttivo delle piogge acide ha provocato danni irreversibili anche ai beni architettonici e ai monumenti.

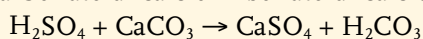


figura 2 Le due provette contengono campioni di acqua piovana non inquinata (provetta di sinistra) e di una pioggia acida (provetta di destra) a cui sono state aggiunte alcune gocce di indicatore universale per evidenziarne il pH. Il campione di acqua piovana non inquinata ha pH attorno a 5, mentre la precipitazione acida ha pH circa 4.



figura 3 La fotografia mostra i danni causati dalle piogge acide sugli alberi del parco nazionale Karkonoski in Polonia. Nel 1989 in questa zona si registrarono precipitazioni con un pH di 1,7.

L'azione delle piogge acide sui materiali è di due tipi: un'azione di corrosione e un'azione di dilavamento sui materiali resi friabili dall'azione delle stesse soluzioni acide. La pietra calcarea è il materiale che più risente dell'azione delle piogge acide. Tra il calcare e l'acido solforico avviene una reazione di doppio scambio che trasforma il carbonato di calcio in solfato di calcio solubile:



Anche se in misura diversa, tutti i materiali risentono dell'azione dell'acido solforico presente nelle piogge acide e possono essere alterati.

L'azione sulle piante può avvenire in due modi: direttamente attraverso le foglie o attraverso l'acidificazione del suolo. La diminuzione del pH di un terreno causa sia

la perdita di nutrienti, che vengono trasportati via con le acque di percolazione, sia la liberazione di ioni metallici, come lo ione alluminio Al^{3+} , tossico per le piante. Un altro effetto legato alla diminuzione del pH è la compromissione della fissazione dell'azoto operata da particolari batteri, che permette di rendere disponibile alle piante lo ione triossonitrato (V) NO_3^- .

Anche gli organismi acquatici possono risentire della diminuzione del pH dei corpi idrici. Le conseguenze possono essere dirette o indirette. Le conseguenze dirette sono dovute alla liberazione in acqua di sostanze tossiche, mentre quelle indirette sono legate all'alterazione della catena alimentare causata dalla scomparsa di vegetali o di specie più sensibili alla variazione di pH.