

## LA RIVOLUZIONE È NELL'ARIA

di Andrea Bernardoni – Museo Galileo

Oggi giorno sappiamo che l'atmosfera è composta da una miscela di gas e che ognuno di questi svolge un ruolo fondamentale nelle trasformazioni chimiche delle sostanze. Fino a circa gli anni trenta del Settecento non era così e sulla base di una concezione tradizionale, risalente almeno fino ad Aristotele, l'aria era vista come un elemento fisico che non partecipava della costituzione delle sostanze ma aveva con esse un rapporto di tipo meccanico strumentale, in grado di favorire o impedire le trasformazioni chimiche.

Prima di ripercorrere le tappe fondamentali che hanno segnato la nascita della "chimica pneumatica" e portato ad una rivoluzione della concezione generale della materia, vi presentiamo due reazioni chimiche nelle quali si mettono in evidenza gli stessi fenomeni che portarono i chimici del Settecento a scoprire e caratterizzare il "terzo stato" della materia: quello gassoso.

La prima è una reazione chimica nella quale si sprigiona anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ) che all'epoca fu individuata come "aria fissa" perché capace di legarsi con i corpi solidi e la seconda, probabilmente la più rivoluzionaria, è quella dell'elettrolisi dell'acqua che oltre all'importanza chimica delle arie mostrò come addirittura l'acqua, un altro degli elementi naturali della tradizione, non era un elemento primo come si credeva sin dall'antichità ma si trattava addirittura della composizione di due arie: l'idrogeno e l'ossigeno.

### ESPERIENZA: LA SCOPERTA DELL'ARIA FISSA ( $\text{CO}_2$ )

Prendiamo della magnesia alba, cioè del carbonato di magnesio, che possiamo trovare facilmente in commercio (questa è la magnesite, appunto, utilizzata dagli atleti per la sudorazione delle mani). Se prendiamo un po' di questa polvere che avevo messo precedentemente qui, prendiamo poi alcune gocce di acido muriatico, cioè acido cloridrico fortemente diluito, e lo mettiamo sulla magnesia vediamo che si sviluppa un'effervescenza, effervescenza che è un segno evidente della produzione di un'aria. Se ripetiamo questa esperienza in un ambiente chiuso – prendo dell'acido cloridrico, lo metto in questo matraccio, poi prendo il carbonato di magnesio, applico il palloncino sul collo del matraccio, a questo punto ho creato un ambiente chiuso – faccio cadere la magnesite nell'acido e ottengo la stessa reazione chimica che abbiamo visto in precedenza. Come vediamo si sviluppa un gas che questa volta non si libera nell'atmosfera ma rimane all'interno del palloncino. Aspettiamo che si esaurisca la reazione chimica. Come vediamo tutto il sistema ha un certo peso, quindi acido cloridrico,

magnesite e anidride carbonica che si è sviluppata nella reazione. Se apriamo il sistema, cioè se togliamo il palloncino pieno d'aria dal matraccio e facciamo uscire l'aria, e dopo lo rimettiamo al suo posto, vediamo che il peso è leggermente sceso, segno evidente, appunto, che anche l'aria quindi aveva una massa e aveva un peso. Nel Settecento, Joseph Black si era accorto che se si prendeva la magnesia alba, o carbonato di magnesio, e lo si sottoponeva ad un forte riscaldamento, trasformandolo cioè in magnesia usta, l'ossido di magnesio che otteniamo non reagiva più con l'acido cloridrico, segno evidente, appunto, che con il riscaldamento era successo qualcosa: si era liberata l'aria o "aria fissa" come la chiamava Joseph Black. Se prendiamo la magnesia alba, o magnesite, in questo mortaio e la prepariamo, la mettiamo poi in questa capsula, accendiamo ora il bunsen, la magnesia alba scaldandosi, appunto, inizia a trasformarsi da carbonato di magnesio in ossido di magnesio. Dopo circa 20 minuti andiamo a vedere se la trasformazione del carbonato in ossido è avvenuta. Spengiamo il bunsen per sicurezza. Prendiamo due gocce d'acido; come si vede c'è ancora un'effervescenza, però c'è anche moltissimo corpo di fondo, segno appunto che gran parte del carbonato si è trasformato in ossido. Se ripetiamo l'esperienza che abbiamo fatto all'inizio con il carbonato vediamo che la reazione va avanti fino a quando il carbonato entra in soluzione con l'acido cloridrico.

#### ESPERIENZA: ELETTROLISI DELL'ACQUA

L'esperienza dell'elettrolisi dell'acqua è una delle acquisizioni più importanti della fine del Settecento perché ha permesso ai chimici e ai fisici di vedere che anche l'acqua, in realtà, era una sostanza composta di due arie, l'idrogeno e l'ossigeno. Per effettuare l'elettrolisi in maniera quantitativa occorrono strumentazioni complesse, però il fenomeno della scissione dell'ossigeno e dell'idrogeno può essere facilmente osservato con un'attrezzatura abbastanza semplice, appunto con dei recipienti, l'acqua, una sorgente di energia elettrica che potrebbe essere anche delle pile o un generatore – noi utilizziamo il generatore per rendere il fenomeno più evidente – e poi dell'acido solforico per acidulare l'acqua. In realtà potremmo anche usare il sale o addirittura l'aceto, ma il fenomeno appunto in quel caso sarebbe meno evidente. Procediamo quindi all'esperienza: riempio le provette di acqua – bisogna stare attenti a non fare entrare l'aria, ecco in questo caso è andata bene – la seconda... ecco è andata bene anche questa volta. A questo punto prendiamo gli elettrodi; in questo caso utilizziamo delle mine di grafite, quelle dei lapis, e due cavi elettrici con due fast. Dobbiamo inserirli dentro la provetta. Ecco: il primo è andato; ok anche il secondo. Poi li colleghiamo all'alimentatore. Ecco. Mettiamo queste pinze per tenere le provette un po' sollevate. A questo punto aggiungiamo anche un po' di acido solforico per acidulare l'acqua e diamo corrente. Come si vede sull'elettrodo alla mia sinistra inizia a svilupparsi delle bollicine d'aria. Il fenomeno è molto più evidente su uno dei due elettrodi, cioè quello dell'idrogeno, proprio perché l'idrogeno partecipa con due atomi alla

molecola dell'acqua. Come vediamo le bollicine risalgono fino ad arrivare nella parte superiore ed è possibile quindi recuperare l'idrogeno prodotto nell'elettrolisi. Quest'altra, l'ossigeno. L'ossigeno è un po' più complicato perché si sviluppano delle reazioni secondarie sul puntale che fa funzionare peggio, però si riesce a vedere la produzione di bollicine. Dopo circa 20 minuti vediamo si sono prodotte due arie, l'idrogeno e l'ossigeno. Come vi ho detto all'inizio l'esperienza non è di tipo quantitativo ma permette benissimo di osservare il fenomeno della scissione dell'acqua in idrogeno e ossigeno.

## LA RIVOLUZIONE DELLE ARIE

La scoperta fondamentale del XVIII secolo che portò ad un rinnovamento radicale della chimica fu il riconoscimento dell'aria come un miscuglio di sostanze chimicamente attive in grado di generare dei mutamenti nei corpi solidi. Fino a questo momento quei fenomeni come la combustione e la calcinazione dei metalli, che oggi sappiamo dipendere dai gas contenuti nell'atmosfera, si riteneva dipendessero dall'ipotetica e imponderabile sostanza del flogisto. Secondo il chimico tedesco Georg Ernst Stahl (1659-1734), che fu il principale teorizzatore di questa sostanza, nei fenomeni di combustione e calcinazione il flogisto si liberava dai corpi cambiandone lo stato sia fisico che chimico. Sulla base di questa teoria, quindi, si riteneva che l'aria atmosferica potesse essere accompagnata o meno dal flogisto dando luogo, a seconda dei casi, ad "aria flogisticata" o "aria deflogisticata".

Dopo la metà del secolo lo scenario iniziò a cambiare e grazie alle sperimentazioni portate avanti nell'ambito della "chimica pneumatica" si arrivò alla scoperta di diverse arie distinte da quella atmosferica che progressivamente minarono le fondamenta della teoria del flogisto mostrandone l'inconsistenza empirica: la rivoluzione era nell'aria.

## UN PO' DI STORIA

Il primo scienziato ad accorgersi delle proprietà chimiche dell'aria fu l'inglese Stephen Hales (1677-1761) che nel suo *Vegetables Staticks* del 1727, riportava una serie di esperimenti che dimostravano come l'aria fosse in grado di legarsi alle sostanze vegetali e minerali determinandone una variazione di peso. I chimici continuarono a cercare una spiegazione di questo fenomeno nei termini della teoria del flogisto ma i risultati ottenuti da Hales costituivano una premessa per un rinnovamento radicale della chimica.

Sulla scia di questi risultati, verso la metà del secolo, lo scienziato scozzese Joseph Black (1728-1799) effettuò una serie di esperimenti con la magnesia, alcuni dei quali li abbiamo visti nell'esperienza di laboratorio sulla scoperta dell'aria fissa, che lo condussero a isolare la prima aria con proprietà chimiche specifiche diverse da quella atmosferica e capace di legarsi con i corpi solidi. Si trattava dell'*anidride carbonica* (CO<sub>2</sub>) che Black

denominò aria fissa. Nel 1766 Henry Cavendish (1731-1810) facendo reagire acido solforico e acido cloridrico con i metalli allora conosciuti riuscì ad isolare una nuova aria, l'idrogeno ( $H_2$ ), che denominò "aria infiammabile". Nel 1772, invece, Daniel Rutherford (1749-1819) annunciò la scoperta di un'aria in grado di spegnere una fiamma che egli stesso identificò come aria mefitica o flogisticata; si trattava dell'azoto ( $N_2$ ), un altro componente dell'aria atmosferica.

Lo sviluppo della chimica pneumatica suscitò un dibattito di scala internazionale che vide nello scienziato inglese Joseph Priestley (1733-1804) uno dei principali protagonisti. Nell'opera *Experiment and Observation on Different kinds of Air*, Priestley descriveva due nuovi tipi di arie: l'aria nitrosa (ossido nitrico, NO) e l'aria acida (acido cloridrico gassoso, HCl). Mentre nel 1774, eseguendo alcuni esperimenti che prevedevano il riscaldamento dell'ossido di mercurio, Priestley riuscì ad ottenere ancora un'altra aria che identificò come "aria deflogisticata". Si trattava dell'ossigeno (O), un gas che negli stessi anni fu isolato anche dal farmacista svedese Wilhelm Scheele (1742-1786) che lo identificò come "aria di fuoco".

Al dibattito sulle arie prese parte anche il giovane chimico francese Antoine Lavoisier (1743-1794) il quale si convinse che i processi di combustione e calcinazione dei corpi non dipendevano dall'estromissione del flogisto bensì dalla fissazione in essi di un'aria specifica diversa da quella atmosferica.

Secondo Lavoisier, che fu il primo ad inquadrare il fenomeno nella giusta maniera, l'aria deflogisticata, che denominò ossigeno, si fissava nelle sostanze durante i fenomeni di combustione e calcinazione e da queste osservazioni arrivò a concludere che l'aria atmosferica fosse in realtà un miscuglio composto principalmente di ossigeno e azoto. La rivoluzione era nell'aria e anche se la comunità dei chimici mostrò inizialmente reticenza verso i rinnovamenti concettuali proposti da Lavoisier, la definitiva affermazione delle sue idee si ebbe quando lo scienziato francese riprendendo alcuni esperimenti di Cavendish e Alessandro Volta, dimostrò, attraverso l'elettrolisi, anche la natura composta dell'acqua, determinando empiricamente come questa fosse il risultato della composizione, secondo una proporzione definita, di idrogeno e ossigeno.

## CONCLUSIONI

I risultati raggiunti dalla chimica pneumatica e le scoperte di Lavoisier che avevano mostrato la dimensione materiale e composta dell'aria atmosferica e della sua partecipazione alla composizione delle sostanze, portarono ad un radicale ripensamento della chimica che adesso dava spazio ad un nuovo stato della materia, i gas, che, come le sostanze solide e liquide, trovavano una spiegazione in termini di peso ed erano quindi analizzabili ed identificabili per mezzo della bilancia.

La rivoluzione era avvenuta, la chimica era uscita dal vicolo cieco della teoria del flogisto, e poteva ora essere riscritta sulla base della legge di conservazione della materia.