

La rivoluzione chimica

Eleonora Aquilini

L

«La precisione per gli antichi Egizi era simboleggiata da una piuma che serviva da peso sul piatto della bilancia dove si pesano le anime. Quella piuma leggera aveva nome Maat, dea della bilancia. Il geroglifico di Maat indicava anche l'unità di lunghezza, i 33 centimetri del mattone unitario, e anche il tono fondamentale del flauto» (1).

Calvino inizia così una delle *Lezioni Americane*, quella dedicata all'*Esattezza*. Trovo straordinario questo modo di concepire la precisione e di raccontarla. La precisione è bilancia che pesa le anime, è unità di misura, è musica.

Una volta ho sentito spiegare da un vecchio insegnante di Fisica il funzionamento di una bilancia a due bracci dell'Ottocento che si trovava nell'Istituto in cui lavoravo. Ne parlava e la trattava come un'opera d'arte: era un gioiello da maneggiare con estrema cura e di cui parlare con amore. Ne rimasi affascinata. La precisione assumeva un aspetto diverso da quello che ha solitamente nella scuola: un tormento che inizia con le tabelline, passa per i calcoli generalmente incomprensibili sull'incertezza della misura quando s'inizia a studiare la Fisica, attraversa tutte le valutazioni di compiti e interrogazioni e finisce con il voto dell'esame di stato. Tutti sappiamo che cos'è *la mancanza di precisione* a scuola: è errore, è colpa, è inettitudine degli studenti a eseguire operazioni mentali e manuali. Da piccoli ci dicono che il primo della classe è bravo perché è uno ordinato e preciso, ma come fa a non sbagliare mai?, cosa è che lo mette in guardia sempre dagli errori?, ci chiediamo. La precisione diventa nel tempo un valore morale, un termine di confronto ideale, è quello che non siamo e che purtroppo non saremo mai.

Ma che cos'è veramente la precisione? Se ne può capire l'importanza? Si può insegnare?

Un gruppo di ragazzi di un Istituto d'Arte mi ha riferito che per

loro non è umiliante rifare più volte lo stesso bozzetto architettonico, perché lo scopo è fare un plastico che sia fatto nel migliore dei modi possibili.

La precisione spesso acquista senso e significato dal suo opposto, prendendo corpo da situazioni complesse. La precisione può diventare un valore autentico per ognuno di noi se se ne comprende il significato nei vari contesti di studio, in classe, in laboratorio.

La Chimica e la precisione

In un percorso didattico che abbia lo scopo di far comprendere come la misura e la precisione abbiano portato la chimica dalla fase prescientifica, alchemica, a quella scientifica, occorre tenere presente che prima di Lavoisier i chimici non facevano della misura uno strumento privilegiato d'indagine: «Nessuno aveva loro insegnato che la quantità del chimico è il peso; i laboratori di chimica dei primi anni del Settecento non contemplavano bilance di precisione, e ribollivano di ricerche sui processi più che sui materiali della natura» (2).

Certo è interessante scoprire perché a un certo punto della storia della chimica, diventa importante misurare e farlo in modo preciso. Sono di rilievo due importanti considerazioni riportate dallo storico della scienza Charles Gillespie nel *Il criterio dell'oggettività*, la prima in relazione alla biografia scientifica di Lavoisier, la seconda in riferimento alla legge di conservazione della materia: «Lavoisier [...] fu educato nella più sicura delle culture, al collegio Mazzarino, di Parigi. La sua mente si rivelò uno dei più acuti strumenti critici mai creati dalla scuola secondaria francese, quel notevole processo che, continuando nei grandi *lycées*, infonde nell'intelligenza francese qualcosa dello spirito cartesiano, qualcosa della sua tensione verso l'ordine e



Jacques-Louis David, Ritratto di Lavoisier con la moglie, 1788, Metropolitan Museum of Art, New York.

l'unità della dottrina [...]. Quando Lavoisier entrò nel mondo della scienza, negli anni fra il 1760 e il 1770, dapprima attraverso la geologia, poi sempre più spinto verso la chimica, non si mosse fra predicatori e farmacisti, fra nobili e dottori; si mosse, invece, nell'ambiente dell'Accademia francese delle Scienze, scegliendosi i suoi amici fra i matematici, particolarmente Laplace, Lagrange e Monge. Questi uomini giudicarono le idee con rigore... la fisica aveva già imparato a non trarre teorie da principi vaghi come il flogisto» (3).

«In qualche occasione gli scienziati hanno scritto che Lavoisier formulò la legge di conservazione della materia. La realtà è più semplice: egli l'aveva soltanto assunta. Era stata per lui,

come per tutti i materialisti antichi, una precondizione, ma non un risultato del suo lavoro: «Dobbiamo formulare come assioma inconfutabile», si trova scritto nel *Trattato elementare di chimica*, «che in tutte le operazioni naturali e artificiali, niente si crea; un'ugual quantità di materia permane sia prima che dopo l'esperimento». Da questo principio, scrive ancora nella *Memoria sull'acqua*, deriva «la necessità di fare esperimenti con maggiore precisione. E su scala più ampia» (4).

Si può ritenere quindi che sia stato il principio di conservazione della materia, come principio epistemologico interiorizzato, a guidare Lavoisier nei suoi studi sulla combustione. Questa era spiegata con la teoria del flogisto (5), elaborata da

Sperimentando

Percorsi didattici che riguardino i nodi concettuali messi in evidenza sono, a nostro avviso, molto importanti per la comprensione delle basi della chimica e per la formazione scientifica degli alunni. Pensiamo che le parti salienti del lavoro di Lavoisier debbano essere proposte agli alunni che iniziano lo studio della chimica, che generalmente coincide con il biennio della scuola secondaria superiore.

Proponiamo qui la schematizzazione di un percorso didattico dal flogisto alla conservazione della materia (13).

Calcinazione di metalli

Ferro, Stagno, Zinco, Piombo vengono posti ciascuno in una capsula e collocati sopra la fiamma del bunsen per 15-20 min. Si pesa la capsula e il suo contenuto prima e dopo il riscaldamento. Si ripete l'esperienza ponendo i metalli in provette pyrex.

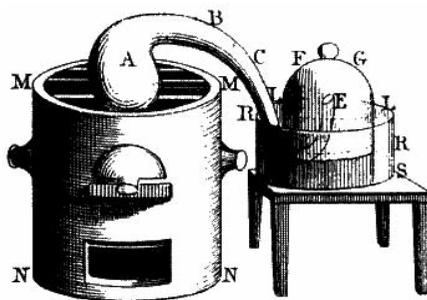
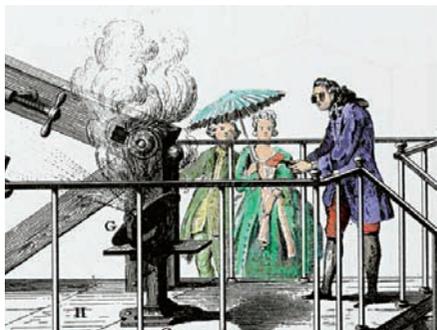
Tali esperienze permettono di prendere atto che si è formata sulla superficie dei metalli una sostanza diversa e che si ha sempre, dopo la calcinazione, un aumento di peso che è maggiore nel caso della capsula. La riflessione con gli alunni porta ad evidenziare che la calce metallica si forma in presenza di aria. Si pone la domanda: "Che spiegazione può essere data a questo fenomeno?"

Generalmente gli alunni non sanno rispondere e questo dà l'opportunità di contestualizzare storicamente il problema, dicendo loro che questo è stato un grande problema per l'umanità che è stato spiegato, ad esempio, con la teoria delle particelle ignee che passando attraverso i recipienti avevano la capacità di trasformare il metallo in calce metallica.

Combustione di materiali come carta, legno, alcool etilico

Dopo l'osservazione del fenomeno si pone la domanda: che tipo di trasformazione è la combustione? Che cos'è secondo voi il fuoco? Perché l'aria è necessaria alla combustione? Gli alunni non sanno che cos'è il fuoco. Lo pensano aristotelicamente come uno dei quattro elementi. Alcuni alunni hanno impa-

Particolare di un esperimento di combustione condotto da Lavoisier nel 1770.



L'apparato usato nell'esperimento sul flogisto, 1780, da Traité élémentaire de chimie.

rato, in modo assiomatico, che è l'ossigeno che fa bruciare i corpi. Si può chiedere allora: come si può dimostrare quello che hai detto? Che cos'è l'ossigeno?

Facciamo notare garbatamente che il lavoro che vogliamo fare insieme è proprio capire a fondo quello che loro sanno per sentito dire. Nella mia esperienza questa considerazione li incuriosisce e li spinge a seguire il lavoro sentendosi coinvolti.

La teoria del flogisto

Si prende in considerazione la teoria del flogisto (dal greco "incendiare"), elaborata da Georg Ernst Stahl (1660-1734) e si sottolinea come sia stata particolarmente significativa nella spiegazione del fenomeno della combustione. Secondo questa teoria le sostanze che sono in grado di bruciare contengono una sostanza particolare, chiamata flogisto, che quando esce dal combustibile si trasforma in fuoco. Si propone la schematizzazione: combustibile (innesco) → flogisto (luce + calore) + cenere.

L'aria, secondo la teoria di Stahl è importante, in quanto è uno strumento essenziale nella combustione, permette il passaggio del flogisto dal combustibile all'aria stessa.

In modo analogo viene spiegato il fenomeno della calcinazione:

metallo → flogisto + calce metallica.

Il paradosso della variazione di peso

Si confrontano i dati ottenuti dalla prima esperienza, quella di calcinazione dei metalli con la spiegazione data da Stahl sulla calcinazione. Come è possibile che il metallo, perdendo qualcosa venga a pesare di più? Nel caso della combustione, invece, la diminuzione di peso non è in disaccordo con la perdita di flogisto. La contraddizione, per noi insanabile fra perdita di materia e aumento di peso non era percepita come tale al tempo di Lavoisier e si riflette con gli alunni su questo nodo epistemologico.

1772: la scoperta fondamentale

Lavoisier chiude i recipienti nei quali avvengono le trasformazioni. Racconto delle

esperienze di combustione del fosforo e dello zolfo, visione di immagini che illustrano l'esperienza. Si riflette su gli aspetti tecnici dell'esecuzione dell'esperienza per evidenziare che questi sono legati a teorie che guidano le operazioni manuali. Lettura del testo della nota inviata il 1° Novembre 1772 al segretario dell'Accademia delle Scienze.

I recipienti chiusi

Dopo aver riassunto le ipotesi esplicative al tempo di Lavoisier:

a. *ipotesi delle particelle ignee:*

metallo + particelle ignee → calce metallica

b. *ipotesi del flogisto*

metallo → flogisto + calce metallica

c. *ipotesi di Lavoisier*

metallo + aria → calce metallica

viene illustrata l'esperienza della calcinazione dello stagno effettuata ponendo in una storta di vetro una quantità ben precisa di stagno e pesando il recipiente chiuso prima e dopo la calcinazione. Lavoisier constata che il peso non è aumentato. È aumentato invece il peso del solo metallo calcinato.

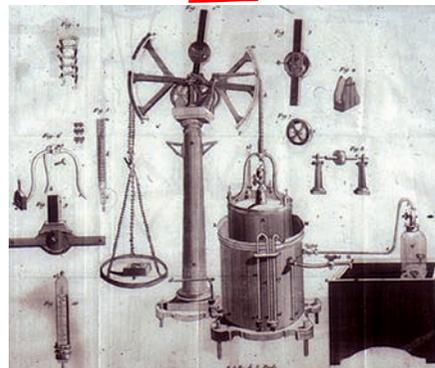
Vengono quindi discusse le tre ipotesi schematizzate e si giunge alla conclusione, a cui giunse Lavoisier che la sola ipotesi confermata è quella che il metallo *si sia combinato con l'aria*.

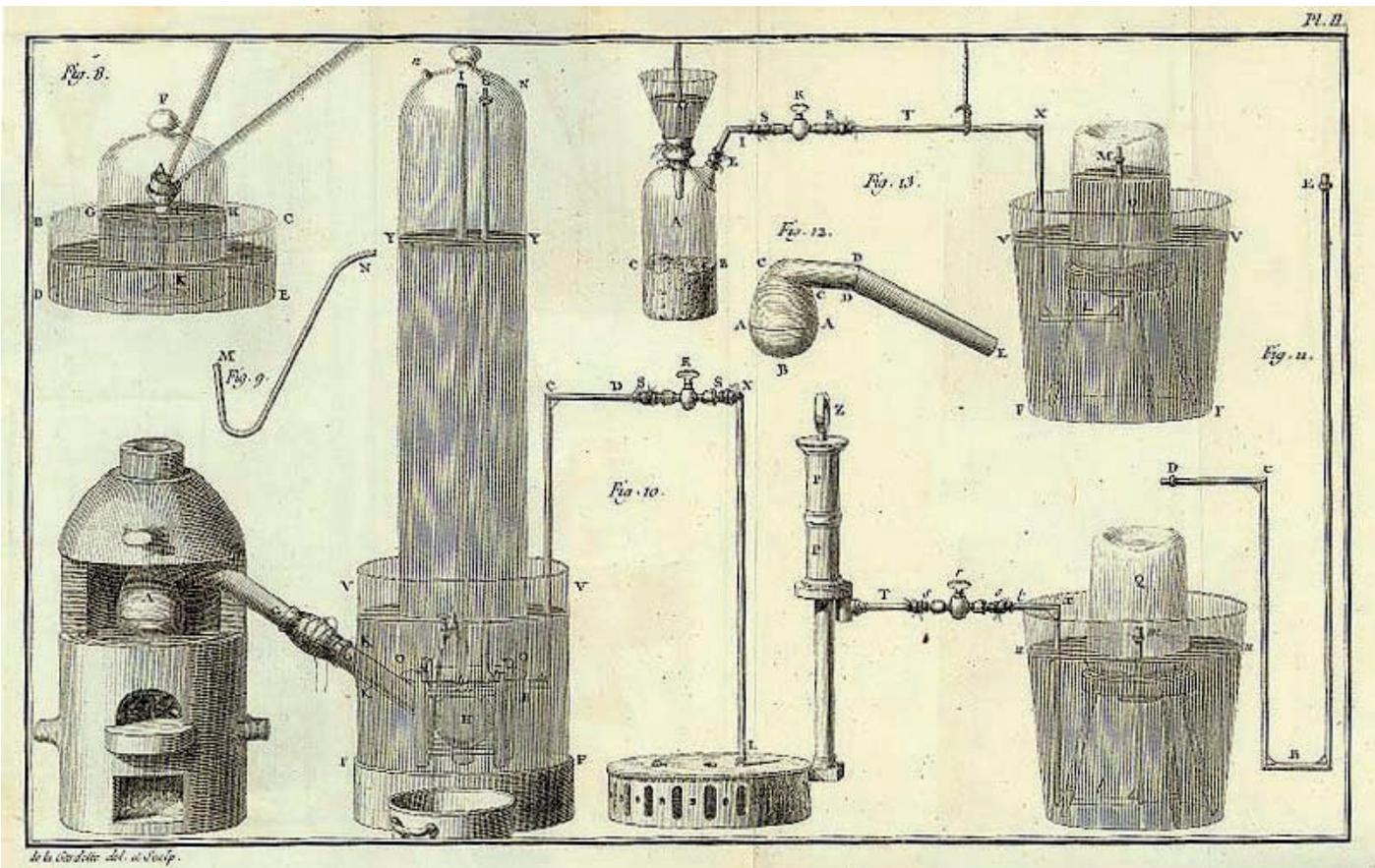
Considerazioni conclusive

Con gli alunni si evidenzia la portata rivoluzionaria di queste esperienze condotte da Lavoisier che confermano due dei principi basilari della chimica: il principio di conservazione della materia; la combustione e la calcinazione avvengono per combinazione con l'aria.

Si sottolinea il fatto che l'invarianza del peso nelle trasformazioni chimiche non è un fatto evidente: sono occorsi 1772 dopo la nascita di Cristo per esserne consapevoli, comprenderlo razionalmente e dimostrarlo. Il tutto è legato al concepire l'aria come "agente chimicamente attivo".

Strumenti di laboratorio, 1780, da Traité élémentaire de chimie.





Strumenti di lavoro di Lavoisier; tavola tratta da Opuscules physiques et chymiques.

Georg Ernst Stahl (1660-1734), che sosteneva che le sostanze infiammabili contenevano flogisto che usciva dai corpi disperdendosi nell'aria. In modo analogo veniva spiegata la calcinazione dei metalli: il metallo contenente flogisto, liberava nella formazione della calce metallica. L'osservazione che nonostante il metallo diventando calce metallica, perdendo flogisto, pesasse di più, non faceva dubitare della teoria. Il peso delle sostanze era un fattore che non veniva collegato al processo di trasformazione. L'atto di pesare le sostanze prima e dopo se non è messo in relazione al principio di conservazione della materia non ha significato, né interpretativo, né esplicitivo. D'altra parte il concetto moderno di trasformazione chimica deve ancora nascere e nasce solo quando si assume il principio di conservazione della materia.

Siamo con il flogisto ancora nel "mondo del pressappoco" che deve diventare universo della precisione. Nel mondo del pressappoco: «Nessuno si è mai provato a contare, pesare, misurare... Nessuno ha mai cercato di superare l'uso pratico del numero, del peso, della misura nell'imprecisione della vita quotidiana – contare i mesi e le bestie, misurare le distanze e i campi, pesare l'oro e il grano, per farne un elemento di sapere preciso» (6).

Il flogisto si trova nel mondo del pressappoco, è un'invenzione, che ha però il merito di spiegare nello stesso modo la

combustione e la calcinazione dei metalli. Questi due processi vengono associati.

Con Lavoisier la combustione e la calcinazione vengono spiegate mettendo al posto del flogisto che sta dentro i corpi che bruciano, l'aria che sta fuori, che è, in un primo momento, una, unica, indistinta, è l'aria atmosferica; successivamente si comprende che è attiva solo una parte di essa, che è un'aria più pura, eminentemente respirabile, l'ossigeno. Quest'aria non trasforma alchemicamente il combustibile, ma si combina con esso ed entrambi diventano altro. Nel caso della calcinazione dei metalli, l'aria si combina con il metallo diventando calce metallica, ossia ossido metallico, che ha proprietà diverse dalle sostanze di partenza ma le contiene entrambe.

Prima di comprendere qual è la parte attiva dell'aria, dando senso compiuto alla teoria della combustione, Lavoisier dà un primo grosso colpo alla teoria del flogisto quando dimostra che è l'aria, che si fissa nelle sostanze. Riesce nel suo intento perché pesa con lo scopo di misurare, con l'idea che la materia si conserva sempre. Grazie a questa convinzione chiude i recipienti in cui avvengono le trasformazioni. Questo è un atto rivoluzionario. Fa avvenire le combustioni sotto una campana di vetro, per mezzo di uno specchio ustorio. La tecnica di cui si avvale è raffinata: per le combustioni dello zolfo e del fosforo usa una lente di qualità appartenente all'Accademia, e

uno specchio ancora più potente, di proprietà di uno dei nobili casati che patrocinavano la scienza «le grand verre ardent de la Tour d'Auvergne» (7).

Lavoisier pesa le sostanze prima e dopo la trasformazione, pesa tutto quello che sta dentro il recipiente chiuso e scopre che l'aria mancante è andata a finire dentro il metallo che è calcinato, o dentro lo zolfo che si è incendiato. Usa bilance di cui annota la provenienza e il grado di precisione (8). Così avviene il passaggio dall'alchimia alla chimica moderna. Il 1° novembre del 1772 Lavoisier deposita un plico chiuso nelle mani del segretario dell'Accademia delle Scienze in cui scrive: «Sono circa otto giorni che ho scoperto che lo zolfo, bruciando invece di perdere peso ne acquista, avviene la stessa cosa con il fosforo: questo aumento di peso deriva da una quantità prodigiosa di aria che si fissa durante la combustione e che si combina con i vapori. Questa scoperta che ho constatato con delle esperienze che considero decisive, mi ha fatto pensare che ciò che ho osservato nella combustione dello zolfo e del fosforo avrebbe potuto aver luogo con tutte le sostanze che acquistano peso con la combustione e la calcinazione; e mi sono persuaso che l'aumento di peso delle calci metalliche deriva dalla stessa causa. L'esperienza ha completamente confermato le mie congetture... Sembrandomi questa scoperta una delle più interessanti fra quelle che sono state effettuate dopo Stahl, ho creduto dovermene assicurare la proprietà, effettuando il presente deposito nelle mani del Segretario dell'Accademia, per rimanere segreto fino al momento in cui pubblicherò le mie esperienze» (9).

Se «la rivoluzione della chimica consisté nell'estensione del concetto di combustione di Lavoisier alle altre reazioni chimiche» (10), possiamo aggiungere che il concetto di reazione chimica nasce dalla generalizzazione degli aspetti quantitativi del processo (11). Le definizioni operative di "composto" ed "elemento", che dobbiamo ancora a Lavoisier, nascono insieme al concetto di reazione, con gli aspetti qualitativi e soprattutto quantitativi che la caratterizzano.

Lavoisier e i libri di testo

Gli alunni solitamente seguono con partecipazione e coinvolgimento il percorso che segue lo sviluppo storico della disciplina. La diffidenza nei confronti della storia della scienza deriva per lo più da una lacuna nella formazione degli insegnanti che conoscono la disciplina prevalentemente in termini di definizioni e applicazioni. D'altra parte i libri su cui gli insegnanti si formano procedono per definizioni dogmatiche che riportano i risultati oggi accettati della disciplina, senza ripercorrerne la storia. Come sostiene Thomas Kuhn ne *La struttura delle soluzioni scientifiche*, «Nella storia, nella filosofia e nelle scienze sociali, il corso universitario di base

richiede, oltre allo studio dei manuali, la lettura di fonti originali, alcune delle quali sono i classici del campo... e fino agli ultimi stadi dell'educazione di uno scienziato i manuali sostituiscono sistematicamente la letteratura creativa che li ha resi possibili. ...Naturalmente si tratta di un'educazione rigida e limitata, più rigida e limitata di ogni altro tipo di educazione» (12).

Quando l'opera di Lavoisier viene sintetizzata nei manuali scolastici con la frase: «In una reazione chimica, la somma delle masse dei reagenti è uguale a quella dei prodotti» e la contestualizzazione storica si riduce all'aneddoto della ghiagliottina, magari inserito come didascalia al quadro che lo ritrae insieme alla moglie, il danno che si fa alla storia della chimica è enorme. Così viene infatti del tutto ignorata la genialità di Lavoisier e l'aspetto rivoluzionario della sua scoperta che ha portato la chimica a diventare scienza. Viene dimenticato che con Lavoisier l'aria ha preso sostanza, ha acquistato un' anima che può essere pesata in modo preciso e questo peso ha donato alla chimica la sua misura. ●

NOTE

- (1) CALVINO I., *Lezioni Americane*, Garzanti, Milano 1988, p. 57
- (2) GILLESPIE CH. C., *Il criterio dell'oggettività*, Il Mulino, Bologna 1981, p. 203.
- (3) *Ibidem*, pp. 208-209.
- (4) *Ibidem*, p. 226.
- (5) Si usa qui l'espressione "teoria del flogisto", tuttavia «Come ha dimostrato Ferdinando Abbri una teoria del flogisto non è mai esistita. Nel corso del Settecento, fino alla grande rivoluzione concettuale operata da Antoine Laurent Lavoisier, la parola flogisto significò cose diverse all'interno di ciascuna teoria, funzionò come un concetto ridondante e come una vera e propria "fisarmonica concettuale"» (ROSSI P., *La nascita della scienza moderna in Europa*, Laterza, Roma-Bari 1997, p. 228.
- (6) KOYRÉ A., *Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione*, Einaudi, Torino 1999, pp. 97-98.
- (7) GILLESPIE CH. C., *Op. cit.*, p. 210.
- (8) FIORENTINI C., AQUILINI E., COLOMBI D., TESTONI A., *Leggere il mondo oltre le apparenze*, Armando, Roma 2007, p. 152.
- (9) LAVOISIER A., *Détail historiques sur la cause de l'augmentation de poids qu'acquièrent les substances métalliques lorsqu'on les schauffe leur exposition à l'air*, tome II, Imprimerie Impériale, Paris 1862, p. 103.
- (10) GILLESPIE CH. C., *Op. cit.*, pp. 225-226.
- (11) FIORENTINI C. et al., *Op. cit.*, pp. 212-213.
- (12) KUHN T.S., *La struttura delle rivoluzioni scientifiche*, Einaudi, Torino 1995, pp. 198-199.
- (13) *Ibidem*, pp. 141-156.