

Lavoisier e la rivoluzione chimica

Lo stato della chimica nel XVIII sec.

La teoria dominante nell'ambito della ricerca chimica nel XVIII secolo fu elaborata da un medico, Georg Ernst Stahl (1659-1734). Abituato a considerare i problemi scientifici entro un quadro teorico generale, Stahl si riconobbe pressoché subito che il sapere chimico e la prassi a esso connessa erano di fatto privi di una sintesi teorica capace di spiegarne i principali fenomeni. Fu in questo contesto quindi che Stahl formulò una teoria destinata ad avere una lunga e fortunata influenza: *la teoria del flogisto*. Si trattava di una nuova teoria della materia, che vedeva l'impiego di un nuovo agente chimico denominato appunto *flogisto*, in grado di rendere conto, in maniera coerente e unitaria, i processi di combustione e di produzione della calce ottenuta mediante la cottura del calcare, ovvero di calcinazione. Secondo Stahl, il flogisto abbandonava i corpi durante una combustione o calcinazione, che costituivano quindi processi di scomposizione. La reazione in senso inverso, invece, quella cioè che oggi viene comunemente indicata con il termine di *riduzione*, costituiva una combinazione. In altri termini, il fenomeno della calcinazione di un metallo, per Stahl, corrispondeva semplicemente alla separazione del principio infiammabile, il flogisto, dalla base metallica.

L'evento destinato a rivoluzionare in modo irreversibile le teorie della materia del Settecento fu la scoperta del terzo stato della materia, quello gassoso.

La filosofia della materia sostenuta dai chimici della prima metà del Settecento si basava essenzialmente sulla teoria dei quattro elementi di Aristotele (acqua, aria, terra e fuoco) e sui tre principi (mercurio, sale e zolfo) di Paracelso. Obiettivo del chimico era quello di ricondurre, durante le proprie operazioni di laboratorio, le sostanze complesse a tali elementi o principi. In linea di massima, la trasmutazione (e non la combinazione) degli elementi veniva ammessa senza particolari riserve o perplessità.

I chimici settecenteschi conoscevano ben poche delle sostanze oggi note come elementi: molte di tali sostanze erano già note nell'antichità: rame, oro, argento, piombo, zinco, stagno e ferro tra i metalli, carbonio e zolfo tra i non metalli. Altri elementi come zinco, arsenico, antimonio e bismuto furono individuati dagli alchimisti medievali.

Fin da Aristotele, l'aria era considerata una sostanza di tipo elementare e primario (come l'acqua del resto), incapace di combinarsi con le sostanze liquide o solide. Nella nuova chimica di Stahl, essa costituiva, insieme al fuoco, uno strumento del cambiamento chimico, mentre soltanto l'acqua e la terra erano elementi (oltre al sale e allo zolfo).

Nel 1727, tuttavia, il medico inglese Stephen Hales, in un'opera dedicata alla fisiologia delle piante, segnalò che l'aria poteva fissarsi nei vegetali, con i quali si combinava dando luogo a una modificazione chimica. Hales non si rese ben conto della propria scoperta e non approfondì la questione. Tuttavia anche se la sua scoperta non entrò subito nei dibattiti dei chimici, l'opera attirò l'attenzione della comunità scientifica. Non a caso Buffon la tradusse nel 1735.

Nel 1752, il medico scozzese Joseph Black ritornò sull'argomento. Scopo delle ricerche di Black era quello di stabilire se la cosiddetta *magnesia alba* (ossia il carbonato di magnesia) potesse essere un rimedio efficace per la cura di problemi quali l'acidità di stomaco o la *pietra*, cioè il calcolo urinario. Le ricerche di Black condussero a una scoperta rivoluzionaria: sottoponendo la magnesia alba a un forte calore, egli aveva ottenuto non solo una nuova sostanza, denominata *magnesia usta* (ossido di magnesio), ma anche una sostanza aeriforme specifica, diversa dall'aria comune. Black la chiamò *aria fissata* o *fissa* e ne descrisse le proprietà. In altri termini, Black aveva scoperto l'anidride carbonica.

La scoperta di Black suscitò subito l'interesse dei medici e dei fisici sperimentali, ma trovò alquanto indifferenti, e non a caso, i chimici. Lo studio dell'aria e delle sue proprietà, infatti, era oggetto di competenza dei professori di fisica sperimentale, non dei chimici. Nei decenni successivi vennero scoperte molteplici *arie* e ciò determinò la nascita di un nuovo filone di ricerche, la *chimica pneumatica*.

Nel 1766, il fisico inglese Henry Cavendish annunciava la scoperta di un'*aria infiammabile* (cioè l'idrogeno), che era riuscito a ottenere facendo reagire degli acidi con dei metalli. Cavendish era convinto, grazie alla scoperta di questa nuova aria, di essere finalmente riuscito a isolare il flogisto, ovvero il principio fondamentale su cui si basava la teoria di Stahl.

Nel 1772 lo scozzese Daniel Rutherford presentò la scoperta di un'altra nuova aria, detta *meftica* o *flogisticata* (ossia l'azoto). Come per i casi precedenti, l'utilizzazione di questi nomi non deve sorprendere. Per i chimici della seconda metà del XVIII secolo, le nuove sostanze aeriformi non possedevano le caratteristiche che oggi vengono loro attribuite. Infatti, per spiegare il comportamento delle diverse sostanze aeriformi vennero formulate innumerevoli teorie tutte strutturate sul concetto di flogisto, che spesso andava a ricoprire una funzione decisamente diversa da quella che gli aveva attribuito Stahl. In ognuna di queste teorie, infatti, la parola flogisto assumeva un significato e rappresentava oggetti estremamente diversi.

Sempre nel 1772, un membro della Royal Society, Joseph Priestley presentava il primo trattato interamente dedicato all'esame del nuovo, straordinario universo delle *arie*. Priestley non solo presentò l'esame delle caratteristiche chimico-fisiche dell'aria fissa (anidride carbonica), infiammabile (idrogeno) e flogisticata (azoto), ma descrisse l'esistenza di due nuove arie, acida (acido idrocloridrico) e nitrosa (ossido nitrico).

Fu soprattutto intorno all'aria fissa che si aprì un acceso dibattito nella comunità scientifica dell'epoca. Un dibattito nel quale si inserì anche un giovane chimico francese, Lavoisier.

La rivoluzione chimica

Punto di partenza della riflessione chimica di Lavoisier fu ovviamente la teoria di Stahl, di cui riconosceva il valore di coerenza e unitarietà teorica, in grado di conciliare dati empirici con una spiegazione teorica di carattere generale. Fu questa consapevolezza, unita alla propensione a trattare le questioni chimiche con metodi e strumenti fisici e matematici, che consentì a Lavoisier di sfruttare in modo rivoluzionario le nuove scoperte nel campo della chimica pneumatica.

Fin dalle sue prime ricerche, Lavoisier si rese conto che un cambiamento di stato di un dato corpo dovesse necessariamente risultare da una

combinazione o separazione di almeno due sostanze diverse. Egli analizzò così due elementi della teoria aristotelica, l'aria e il fuoco, giungendo a studiare quei processi di combustione e calcinazione sui quali Stahl aveva costruito la teoria del flogisto. Nel 1772, Lavoisier si convinse che questi processi non potevano essere dovuti alla perdita di flogisto, ma andavano invece attribuiti alla fissazione nei corpi di un'aria specifica, diversa da quella atmosferica. Lavoisier si era ormai convinto che la strada da seguire fosse quella di Hales e Black. Il primo novembre di quello stesso anno, Lavoisier depositò all'Académie Royale des Sciences una nota sigillata nella quale annunciava di aver scoperto che lo zolfo, sottoposto a combustione, aumentava di peso e si convertiva in acido vitriolico, assorbendo una quantità notevole di aria che si fissava in esso e che era all'origine del suo aumento ponderale. Anche il fosforo si comportava allo stesso modo. Inoltre, era molto probabile che lo stesso fenomeno fosse alla base dell'aumento di peso dei metalli sottoposti a calcinazione.

I primi risultati delle ricerche di Lavoisier videro la luce nel suo primo libro importante gli *Opuscules physiques et chimiques* apparsi nel 1773, ma recanti la data 1774. Lavoisier però non aveva ancora compreso la differenza tra l'aria che si fissava e quella che aveva a che fare con l'aumento di peso delle calci metalliche.

Ora proprio nell'agosto di quello stesso anno, Priestley, scaldando l'ossido rosso di mercurio sotto una campana rovesciata, raccolse un nuovo gas che aveva la capacità di mantenere vivace la combustione. Si trattava dell'ossigeno, che egli aveva chiamato *aria deflogisticata*. In quanto seguace di Stahl, Priestley stava infatti cercando di inserire tutte le nuove arie nel quadro teorico tradizionale. Nel frattempo la stessa aria era stata isolata, in maniera indipendente, dal farmacista svedese Carl Wilhem Scheele, che l'aveva chiamata *aria di fuoco*.

Lavoisier si rese subito conto che le caratteristiche di questa nuova aria, spiegando quale fosse l'aria responsabile dell'aumento di peso delle calci metalliche, ovvero degli ossidi:

Poiché il tempo consacrato alle nostre sedute pubbliche non mi consente di trattare di nessuna di queste questioni in tutta la sua estensione, mi limiterò oggi a un caso particolare, mi limiterò a far vedere che il principio che si unisce ai metalli durante la loro calcinazione, che ne aumenta il peso e che li costituisce nello stato di calce, non è altro che la parte più salubre e più pura dell'aria. Infatti, se l'aria, dopo essere stata in combinazione metallica, ritorna libera è in uno stato eminentemente respirabile ed è più adatta dell'aria atmosferica a mantenere l'infiammabilità e la combustione dei corpi.

Poco dopo Lavoisier forniva una chiara descrizione dell'aria atmosferica, stabilendo che essa era un miscuglio di gas, composto principalmente di ossigeno e azoto.

Naturalmente, la spiegazione di Lavoisier non fu accettata immediatamente. Pur ricevendo l'appoggio immediato dei fisici, i chimici continuarono a trattarla una delle tante ipotesi, privilegiando ancora la spiegazione del flogisto.

Un contributo decisivo all'affermazione della nuova teoria chimica venne dagli esperimenti relativi alla natura composta dell'acqua. Nel 1783, Cavendish effettuò una serie di esperimenti relativi alla combustione dell'aria infiammabile con l'aria deflogisticata. Egli arrivò così a concludere che l'acqua era il risultato della combinazione delle due arie, inserendo la

propria scoperta all'interno di uno schema teorico fondato sull'uso del flogisto.

Tra il 1783 e il 1785, Lavoisier ripeté gli esperimenti di Cavendish confermando la natura composta dell'acqua. La sua spiegazione, però, fu di tutt'altra natura. Secondo Lavoisier infatti l'acqua era il risultato dell'unione di due sostanze elementari ben diverse da quelle indicate dalla tradizione, l'idrogeno e l'ossigeno, di cui egli riuscì anche a determinare le proporzioni: 85 parti di ossigeno e 15 di idrogeno. Anche l'acqua, dopo l'aria, cessava quindi di essere un elemento.

Ci vorrà molto tempo prima che la comunità scientifica si converta alla nuova teoria chimica di Lavoisier. Nel frattempo, comunque, Lavoisier continuò la propria opera di sistemazione del nuovo edificio teorico, che troverà compimento in due opere straordinarie, la *Méthode de nomenclature chimique* del 1787 scritta insieme a Berthollet e il *Traité élémentaire de chimie* del 1789, a ridosso dello scoppio della Rivoluzione francese.

Fra le trasformazioni concettuali che separano nettamente Lavoisier dalla tradizione chimica spiccano quelle relative all'idea di analisi e al concetto di elemento. Fino a Lavoisier, il concetto di elemento come sostanza non ulteriormente scomponibile più che costituire un'acquisizione di laboratorio, rappresentava un assioma stabilito a priori. L'aria, il fuoco, l'acqua e la terra di Aristotele, lo zolfo, il mercurio ed il sale di Paracelso costituivano principi che si ponevano contemporaneamente come punto di partenza e di arrivo di qualsiasi ricerca. Lavoisier, invece, riformulò il concetto di elemento ispirandosi ai criteri metodologici della filosofia dell'Illuminismo, che imponevano l'esperienza ed il metodo analitico come punto di partenza per qualsiasi ricerca nell'ambito delle scienze sperimentali.

Secondo d'Alembert i procedimenti d'indagine analitici (ovvero dal complesso all'elementare) erano particolarmente utili nel campo delle scienze sperimentali, ovvero nel caso in cui i principi primi di una scienza potevano essere individuati soltanto partendo dall'analisi delle proprietà macroscopiche delle sostanze. Raccogliendo i dati dell'esperienza in maniera ordinata era possibile, infatti, "disporli nell'ordine più naturale" e "riconderli ad un certo numero di fatti principali" rispetto ai quali tutti gli altri apparivano "come conseguenze". D'Alembert rifiutava l'idea che i principi di una scienza sperimentale potessero essere individuati in maniera astratta e senza fondamento empirico, proprio come avveniva nel caso della chimica.

Sulla scia di queste suggestioni metodologiche, fra cui decisive risultarono quelle derivate dalla lettura dell'opera di Condillac (1714-1780), Lavoisier ritenne che la chimica non dovesse fornire, almeno in una prima fase, strumenti per determinare l'intima struttura della realtà. La ricerca chimica doveva limitarsi ad indicare, utilizzando un procedimento di tipo analitico, quali erano le sostanze semplici determinabili sperimentalmente e in quale modo andavano a combinarsi. Mentre i principi della tradizione aristotelica e paracelsiana, che avevano un carattere definitivo, erano alla base dell'intera realtà naturale (materiale e spirituale, non solo quella fisica) e rappresentavano il punto di partenza e di arrivo di ogni possibile ricerca chimica, quelli di Lavoisier possedevano un carattere del tutto provvisorio:

Ciò che si può dire sul numero e sulla natura degli elementi si limita secondo me a discussioni puramente metafisiche: si tratta di problemi indeterminati, che ci si propone di risolvere, che sono suscettibili di una infinità di soluzioni, ma delle quali è probabile che

nessuna vada d'accordo con la natura. Mi limiterò dunque a dire che se col nome di elementi intendiamo designare le molecole semplici ed indivisibili che compongono i corpi è probabile che non li conosciamo. Invece se colleghiamo al nome elementi o principi l'idea del termine ultimo al quale perviene l'analisi, tutte le sostanze che non abbiamo ancora potuto scomporre sono per noi elementi; non perché possiamo assicurare che questi corpi che consideriamo semplici non siano essi stessi composti di due o persino di un più grande numero di principi, ma perché questi principi non si separano mai, o piuttosto perché non abbiamo alcun mezzo per separarli. Agiscono nei nostri confronti alla maniera dei corpi semplici e non dobbiamo supporli composti che al momento in cui l'esperienza e l'osservazione ci avranno fornito la prova che sono composti.

Lavoisier non negò l'esistenza di principi ultimi della materia, ma criticò semplicemente il fatto che questa idea si fosse trasformata in un assioma metafisico della ricerca chimica, la quale invece doveva riferirsi esclusivamente ai prodotti finali dell'analisi sperimentale effettuata in laboratorio. Soltanto fondandosi su nuovi elementi, ottenuti attraverso procedimenti analitici, la chimica avrebbe potuto sperare di trasformarsi da sapere empirico in scienza. Contemporaneamente era necessario procedere ad una nuova designazione degli elementi da un punto di vista linguistico, ovvero alla creazione di una nuova nomenclatura, così come aveva fatto Linneo nell'ambito della botanica, che permettesse l'individuazione semplice e chiare delle sostanze:

I nomi attualmente in uso, come ad esempio quelli di *polvere di Algaroth*, *sale Alembroth*, *Pompholix*, *acqua fagedenica*, *turbith minerale etiopi*, *colcothar* e molti altri, non sono né meno duri né meno straordinari. È necessaria una grande abitudine e molta memoria per ricordare le sostanze che essi esprimono e soprattutto per riconoscere a quale genere di combinazione esse appartengono. I nomi di *olio di tartaro per deliquio*, *olio di vitriolo*, *burri di arsenico* e di *antimonio*, *fiori di zinco* ecc. sono più ridicoli ancora perché fanno sorgere idee false, dato che non esistono, parlando rigorosamente, nel regno minerale e soprattutto nel regno metallico né burro, né olio, né fiori; infine perché le sostanze designate da questi nomi ingannevoli sono, per la maggior parte, potenti veleni.

La creazione di una nomenclatura semplice ed univoca non ha tuttavia, in Lavoisier, un ruolo puramente strumentale. Essa rappresenta anche la ferma volontà di fare della chimica una disciplina non più interpretabile come parte di teorie generali di ispirazione metafisica o trascendente. Nell'ambito delle procedure dell'alchimista, infatti, lo studio delle sostanze materiali costituisce soltanto un pretesto per accedere ad un superiore ordine spirituale.

Una parte delle espressioni di cui ci si serve in chimica è stata introdotta dagli alchimisti. Per gli alchimisti era difficile trasmettere ai lettori ciò che essi non possedevano, ossia idee giuste e vere. Il loro scopo non era quello di farsi capire. Si servivano di un linguaggio enigmatico che era inteso solo da loro, che molto spesso aveva un senso per gli adepti ed un altro senso per il volgo e che non presentava niente d'esatto e di chiaro né per gli uni né per l'altro. Così l'olio, il mercurio, l'acqua dei filosofi non erano né l'olio, né il mercurio, né l'acqua nel senso che noi intendiamo oggi.

Fu così che Lavoisier presentò *Traité élémentaire de chimie* (1789), una *Tavola delle sostanze semplici*, le quali, designate secondo un nuovo linguaggio, venivano presentate come il risultato di operazioni di laboratorio puramente analitiche. Lavoisier ordinò trentatré elementi ritenuti semplici in quattro diverse classi: 1) *Sostanze semplici appartenenti ai tre regni e che è possibile considerare*

come elementi: luce, calorico, ossigeno, azoto; 2) *Sostanze semplici non metalliche ossidabili e acidificabili*: zolfo, fosforo, carbonio, radicale muriatico, radicale fluorico, radicale boracico; 3) *Sostanze semplici metalliche ossidabili e acidificabili*: antimonio, arsenico, argento, bismuto, cobalto, rame, stagno, ferro, manganese, mercurio, molibdeno, nichel, oro, platino, piombo, tungsteno, zinco; 4) *Sostanze semplici, salificabili, terrose*: calce, magnesia, barite, allumina, silice.

Lavoisier non ebbe difficoltà ad accettare l'idea di Condillac che la nuova chimica dovesse dotarsi una di una nuova lingua il più possibile vicina al modello delle scienze matematiche:

L'algebra è in effetti un metodo analitico, ma nondimeno una lingua, se tutte le lingue sono esse stesse metodi analitici. Ora l'algebra è, ancora una volta, ciò che lingue sono effettivamente. Ma l'algebra è una prova molto sorprendente che gli sviluppi delle scienze dipendono unicamente dagli sviluppi delle lingue e che soltanto lingue ben fatte potrebbero dare all'analisi il grado di semplicità e di precisione di cui essa è suscettibile.

Fin dall'inizio della sua carriera Lavoisier si era mostrato convinto del fatto che la riforma della chimica dovesse passare necessariamente attraverso l'uso dei metodi e degli strumenti della scienze matematiche e fisiche. Adesso questa convinzione trovava la sua massima espressione, nel 1789, nell'innovativa formulazione del principio di conservazione della massa:

Nulla si crea, nelle operazioni artificiali, né in quelle della natura, e possiamo porre come principio che in ogni operazione, vi è una eguale quantità di materia prima e dopo l'operazione; che la qualità e la quantità dei principi è la stessa e che vi sono soltanto dei cambiamenti, delle modificazioni. Su questo principio è fondata tutta l'arte di fare esperimenti in chimica: siamo obbligati a supporre in tutti una vera uguaglianza o identità fra i principi dei corpi esaminati e quelli ottenuti mediante l'analisi.

Che gli elementi di Lavoisier non avessero niente a che vedere con le sostanze elementari della tradizione venne ribadito da Fourcroy, uno dei primi sostenitori della nuova chimica:

I chimici convengono attualmente che se si vogliono intendere per principi o elementi le entità semplici e fondamentali che costituiscono le molecole primarie dei corpi, tali enti ci sono assolutamente sconosciuti nel loro numero come nelle loro proprietà, e occuparsene significherebbe affidarsi a delle ipotesi tanto inutili quanto quelle delle monadi o degli atomi.

Tali elementi avrebbero potuto cessare di essere tali, oppure aumentare, in base ai progressi delle analisi chimiche. Quest'ultima previsione, che in effetti fu confermata abbastanza rapidamente, mise in evidenza come il sistema chimico di Lavoisier fosse strutturato sulla base di un inedito collegamento fra la parte teorica e quella pratica, del tutto assente nei precedenti sistemi. La rapida scoperta di nuovi elementi continuò a suscitare scetticismo fra molti ricercatori, i quali ritenevano che in questo modo fosse messo in dubbio il principio fondamentale secondo cui la natura agisce sempre nel modo più semplice possibile. Ma la battaglia di Lavoisier era condotta proprio contro quei naturalisti o fisici che, per ragioni diverse e contrapposte, volevano ricondurre l'intero sistema delle combinazioni chimiche a pochi principi, negando contemporaneamente l'esistenza della chimica come disciplina specifica.

L'utilizzazione di un approccio fisico ai problemi della chimica fu, come abbiamo già detto, del tutto innovativo e non fu recepito positivamente da quei filosofi naturali che avevano come obiettivo primario lo studio delle relazioni tra i fenomeni e le forze della natura. Priestley, ad esempio, non si convertirà mai alla nuova chimica e anche altri celebri personaggi lo faranno a fatica; fra questi, anche Alessandro Volta (il quale, nel 1776, rimestando il terreno dei fondi paludosi, aveva individuato un nuovo gas, da lui chiamato *aria infiammabile nativa delle paludi*, ovvero il metano). Tra i primi ad appoggiare la riforma lavoisieriana fu invece Lazzaro Spallanzani, che vide nel sistema teorico e sperimentale del chimico francese, peraltro stimato da anni, lo strumento finalmente in grado di risolvere il complesso problema della respirazione e di dare un nuovo assetto agli studi di fisiologia.

Lavoisier, tuttavia, pur applicando strumenti quantitativi alla chimica, fece comprendere che i fenomeni chimici erano troppo particolari e diversi per essere quantificati con gli stessi criteri della teoria meccanica. Per questo motivo paradossalmente, non tutti i fisici, che pure avevano elogiato le ricerche e la riforma di Lavoisier, furono disposti ad accettare facilmente questa prospettiva.