

GIANLORENZO MARINO (*)

Pensiero creativo e progresso della chimica (**)

Summary - There are two distinct ways in which the human mind acts: the convergent (or logic) thought and the divergent (or creative) one.

Both of them are necessary and important in the cumulative construction of the Science building but the real advancement of science is essentially due to a very limited number of great men endowed with extraordinary creative imagination.

The really new and revolutionary ideas often meet with strong opposition and resistance within the scientific community which is mostly formed by mediocre individuals fond of the old system of knowledge in which they have grown up and who are not very inclined to put it radically into discussion.

Many decades must often pass before those ideas are finally accepted by everyone.

This concept is illustrated by the different stories of four great chemists of extraordinarily creative skills, who lived in different periods of history.

The great new ideas introduced by Boyle (the concepts of chemical element and compound), Lavoisier (the theory of combustion), Avogadro (the distinction between atoms and molecules), and Van't Hoff (the spatial disposition of the atoms inside the molecules) are taken into examination and the various fortunes met by these within the scientific community are shown.

Gli studiosi della mente umana hanno individuato due distinti modi di agire del pensiero: il *pensiero convergente* o logico che studia i rapporti tra le cose e le idee all'interno di schemi prefissati e accettati, utilizzando regole precise e conosciute e ricorrendo al metodo deduttivo; il *pensiero divergente* o creativo che ribalta gli schemi propostigli e ne costruisce di nuovi, si allontana dai sentieri già noti e battuti e si avventura per sentieri inconsueti, non rispetta necessariamente le regole ma crea lui stesso regole nuove e diverse. Il metodo che il

(*) Dipartimento di Chimica dell'Università di Perugia.

(**) Relazione presentata al VI Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (Cagliari, 4-7 ottobre 1995). Il suo contenuto largamente riprende il contenuto di altra relazione tenuta al 3° Convegno storico scientifico organizzato dall'I.R.R.S.A.E. delle Marche sul tema «Pensiero Scientifico e Creatività» (Ancona, 17-19 marzo 1994).

pensiero creativo utilizza è quello induttivo che permette di risalire dai fatti ai principi, dal particolare al generale, dagli effetti alle cause.

Massime manifestazioni del pensiero divergente sono le creazioni artistiche e le conquiste scientifiche. I grandi artisti e i grandi scienziati sono assai più simili di quanto generalmente si creda: gli uni e gli altri utilizzano gli stessi strumenti, l'intuizione e la fantasia.

Per la costruzione collettiva del grande edificio della Scienza sono necessarie e importanti sia l'una che l'altra forma del pensiero.

Molto schematicamente possiamo semplificare così: periodicamente uomini dotati in larga misura di fantasia creatrice costruiscono gli schemi nuovi e dettano le nuove regole. Poi entrano in azione gli uomini del pensiero convergente; raccolgono i dati e studiano i rapporti tra questi entro gli schemi applicando le regole. Finché questi schemi e queste regole esauriscono per così dire le loro potenzialità e sono necessarie idee nuove per andare avanti.

Naturalmente le idee nuove e rivoluzionarie raramente vengono immediatamente accettate. A volte esse vengono accolte con indifferenza, non capite, sostanzialmente ignorate; questo si verifica quando le idee sono assai avanti rispetto alle conoscenze del tempo in cui vengono espresse e il mondo scientifico non è ancora preparato ad accoglierle.

Possono passare decenni, a volte molti decenni, prima che queste idee vengano, per così dire, «riscoperte», riproposte e infine accettate dalla comunità scientifica.

Ma anche quando i tempi sono più maturi, le idee fortemente innovative suscitano comunque un'azione di rigetto da parte della comunità scientifica che è costituita in larga parte da uomini mediocri: ricercatori, professori affezionati al vecchio sistema di conoscenze nel quale si sono formati e poco disposti a rimmetterlo facilmente in discussione. A questa difesa del vecchio contro il nuovo, a questa opposizione alle «idee diverse» partecipano però, a volte, anche uomini eminenti, feriti forse nell'orgoglio per non averci pensato loro, difensori gelosi delle teorie che avevano concorso a stabilire e che ora vengono rimesse in discussione.

Illustrerò quanto detto con le storie diverse ma tutte emblematiche di quattro grandi chimici dotati di straordinarie capacità creative che hanno operato in diversi periodi della storia: Boyle, Lavoisier, Avogadro e Van't Hoff e mostrerò come le loro idee rivoluzionarie siano state accolte dalla comunità degli uomini di scienza.

Con Robert Boyle siamo in pieno secolo diciassettesimo. Boyle era un «filosofo naturale», uno di quei grandi uomini di quel secolo straordinario che inizia con Galileo e termina con Newton.

Boyle ha portato importanti contributi alla Scienza. Tutti conoscono quella che va appunto sotto il nome di «legge di Boyle»: a temperatura costante per ogni gas è costante il prodotto del volume occupato per la pressione esercitata.

Ma non c'è solo questo. Boyle ha scoperto per primo la dipendenza del punto di ebollizione dei liquidi dalla pressione atmosferica; ha spiegato l'azione del sifone; ha studiato l'effetto dell'aria sulla propagazione del suono (che appunto, a differenza della luce, non si propaga nel vuoto); ha scoperto per primo i rapporti tra aria e combustione e respirazione; ha legato il suo nome alla preparazione di molti composti organici importanti, tra i quali l'alcol metilico e l'acetone. Boyle si è dedicato molto all'analisi chimica e sembra anzi che il termine «analisi chimica» sia stato usato per la prima volta da lui.

Tutto questo — che pur costituisce un formidabile contributo alla Scienza — non giustifica però il posto di assoluto rilievo che Boyle occupa *oggi* nella Storia della Chimica.

Il suo libro «*The Sceptical Chymist*»,¹ pubblicato nel 1661, *avrebbe* potuto segnare una rivoluzione. Segno di modernità esso è scritto in inglese, una lingua viva (allora i libri scientifici erano tutti scritti in latino); il libro è in forma di dialogo tra i sostenitori delle vecchie teorie e Carneade, il chimico scettico, che riporta le idee di Boyle stesso.

All'inizio Carneade chiarisce il significato del termine «scettico»: «io non avanzo, come i veri scettici, dubbi aventi lo scopo di convincere la gente che tutto al mondo è dubbio e sempre resterà tale per la conoscenza umana; ma io li avanzo con lo scopo e la speranza di liberarci finalmente da loro, raggiungendo quella indubbia verità che cerco e penso di trovare».

Il principio unificatore dell'opera di Boyle è quello di eliminare dalla chimica tutte le forze misteriose, occulte o personificate (l'amore, l'odio, etc.) e di spiegare tutti i fatti della natura su basi meccanicistiche, ricorrendo sistematicamente all'esperimento e all'applicazione del metodo induttivo, teorizzato da Bacone e Galileo (Boyle era un grande ammiratore di Galileo e fece un viaggio a Firenze, proprio con lo scopo di studiare accuratamente le sue opere). Nella realtà lo stato delle conoscenze in campo chimico era ancora troppo limitato perché l'applicazione del metodo induttivo potesse dare seri frutti e Boyle supplisce con la fantasia e l'intuizione, doti che egli possiede in sommo grado.

In contrasto con altri filosofi (fra cui Cartesio) che sostenevano l'indefinita suddivisibilità della materia, Boyle ritiene che la materia sia discreta e che tutte le sostanze siano costituite da atomi, ogni sostanza da atomi diversi. Quando le particelle di sostanze diverse vengono a contatto, se fra particelle differenti si esercita una maggiore «affinità» che tra particelle uguali, allora avviene la trasformazione chimica. Il quadro è ancora un po' confuso ma non molto diverso da quello che sarà chiarito secoli dopo.

Al tempo di Boyle valeva ancora la teoria degli elementi di Empedocle. In

¹ R. BOYLE, *The Sceptical Chymist* (1611). La traduzione italiana è riportata in R. BOYLE, *Opere*, a cura di C. Pighetti, U.T.E.T. (Torino), 1977.

base a questa teoria (avvallata dalla grande autorità di Aristotele) le infinite sostanze di cui è formato il mondo sono costituite da quattro sostanze semplici o «elementi»: l'aria, l'acqua, la terra e il fuoco. La teoria era nata da una esigenza intellettuale di semplicità: il mondo «doveva» essere meno complicato di come appariva.

La teoria dei quattro elementi fu integrata nel Medioevo dalla teoria dei tre principi (i «Tria prima») di Paracelso: zolfo, mercurio e sale. Secondo sia Empedocle che Paracelso, tutte le sostanze risultavano dall'intima miscelazione, in diversi rapporti, dei vari elementi, ciascuno dei quali contribuiva in una qualche misura, alle loro proprietà: lo zolfo con il principio della combustibilità, il mercurio con quello della fluidità, il sale con quello della solubilità, etc.

Boyle demolisce la teoria dei principi aristotelici e paracelsiani e propone di definire «gli elementi chimici come i corpi primigeni e semplici che non essendo costituiti da altri corpi o l'uno dell'altro, rappresentano le parti componenti di cui sono direttamente formati tutti i cosiddetti corpi composti e nei quali questi ultimi possono in definitiva essere decomposti».

È straordinario ma è la definizione che diamo oggi degli elementi chimici; non c'è bisogno di spostare una virgola!

Boyle non si sente ancora in grado di proporre una lista di elementi, ma ritiene (giustamente!) che essi debbano essere un gran numero, molti di più dei tre, quattro o sette come fino allora si riteneva. A titolo di esempio, Boyle cita (correttamente) l'oro, l'argento, il mercurio, il rame e (sbagliando) l'acqua e alcune terre.

Boyle dà poi una corretta definizione di composto: per Boyle un composto chimico è costituito dall'intima combinazione di due o più «elementi» ma — e qui sta la fondamentale novità — esso ha proprietà del tutto diverse da quelle degli elementi che lo costituiscono (il solfato di rame ha proprietà totalmente diverse dal rame). Su questa base Boyle fa una chiara distinzione tra «composto» e «miscuglio». Il miscuglio, a differenza del composto, conserva le proprietà dei suoi componenti (una soluzione salata per esempio conserva il sapore del sale) e può essere agevolmente separato nei costituenti ricorrendo a semplici operazioni fisiche, quali la distillazione o la separazione meccanica.

Ora, la chiara distinzione tra elemento, composto e miscuglio è fondamentale in chimica.

Boyle dà nel libro una corretta definizione della chimica: la chimica è la scienza che studia la composizione delle sostanze e le loro trasformazioni. E la chimica non ha niente a che fare con la magia o il misticismo (come pensavano gli alchimisti) e non deve essere neanche considerata una scienza ausiliaria della medicina (come ritenevano gli iatrochimici): la chimica è una scienza indipendente che deve essere studiata al solo scopo di scoprire le leggi che governano i fenomeni da essa contemplati.

Molti storici della scienza si son domandati quale accelerazione avrebbe

potuto avere lo sviluppo della chimica se la chiara distinzione operata da Boyle tra elemento, composto e miscuglio fosse stata fatta propria dai contemporanei. Non lo fu. E nella storia non c'è posto per i «se» e per i «ma». Non lo fu per una molteplicità di ragioni.

Innanzitutto Boyle apparteneva a un ambiente totalmente diverso da quello della maggior parte dei chimici, in specie di quelli che operavano nel continente, che erano farmacisti o comunque uomini con preparazione medica o farmaceutica; Boyle era invece un filosofo naturale, uno di quegli scienziati — ce n'erano soprattutto in Inghilterra — che ricercavano per passione e vocazione. I suoi libri avevano pertanto ampia diffusione negli ambienti colti (non a caso Newton che si è occupato di chimica e che discusse molte questioni chimiche nella parte finale del suo trattato «Optics», fu uno dei pochi ad accettare le idee di Boyle) ma erano poco letti, anche perché scritti in inglese, dai chimici.

Ma il fatto fondamentale era che il mondo chimico non era ancora pronto ad accogliere queste idee nuove, troppo in anticipo sui tempi. Perché il concetto di elemento venga riproposto nella stessa identica forma di Boyle e accettato, bisognerà aspettare centoventotto anni! (Tanti ne intercorrono tra la pubblicazione de «The Sceptical Chymist» e quella del «Traité élémentaire de Chimie»² di Lavoisier, nel 1789).

Per tutti questi anni continuarono a essere pubblicati libri che facevano ancora esplicito riferimento agli «elementi» di Empedocle e Paracelso come costituenti di tutte le sostanze!

A complicare ancor più le cose, all'inizio del secolo XVIII, si affermò ad opera di Stahl, l'errata teoria del flogisto.

Secondo questa teoria — come è a tutti noto — i corpi combustibili (il carbone, lo zolfo, il fosforo e anche i metalli) contenevano una sostanza, considerata di natura materiale e chiamata flogisto. Nell'atto dell'arsione o della calcinazione il flogisto veniva espulso e tutti i fenomeni legati alla combustione — fiamma, calore, luce — erano causati dalla violenza di questa espulsione.

Tutti i corpi combustibili e così pure i metalli non erano perciò considerati sostanze semplici (come oggi sappiamo che sono e come aveva intuito anche Boyle) bensì composte in cui entrava come componente il flogisto.

Nella seconda metà del diciottesimo secolo, tra vecchi seguaci dell'antica teoria «dei quattro elementi» e nuovi seguaci della teoria del flogisto, la confusione del pensiero chimico aveva raggiunto il culmine finché non giunse Antoine Laurent Lavoisier (il secondo dei nostri campioni) a far chiarezza e a porre finalmente la chimica su basi moderne. Facendo riferimento alla sua opera, oggi si parla di «rivoluzione chimica».

È stato osservato che Lavoisier non scoprì in realtà nessun nuovo compo-

² A.L. LAVOISIER, *Traité élémentaire de chimie*, Parigi (1789).

sto e nessuna nuova reazione. Il suo genio stava nella capacità di vedere i punti deboli delle teorie antiche e di riordinare i fatti di cui disponeva in una teoria nuova e diversa. Ma questa è proprio la caratteristica saliente del pensiero divergente e creativo che consiste nel cogliere i rapporti tra le cose o le idee in modo originale e nuovo e nel formulare intuizioni non previste dagli abituali o tradizionali schemi di pensiero.

Lo strumento che Lavoisier adoprò per smantellare il vecchio sistema e costruire il nuovo fu la bilancia. Pesando accuratamente i reagenti e i prodotti delle reazioni (compresi i gas), trasformò la chimica da una scienza qualitativa in una quantitativa.

In questa sede ci limiteremo a illustrare le sue due principali conquiste, conseguenti al rigoroso studio quantitativo delle reazioni.

1. La legge della conservazione della massa e della conservazione degli elementi. Nel suo famoso «*Traité élémentaire de chimie*» scrive: «Nulla si crea né nei processi artificiali né in quelli naturali e si può assumere come principio che in ogni operazione la quantità di materia è la stessa prima e dopo l'esperienza; che la qualità e la quantità dei principi (elementi) rimangono immutate e che si verificano solo trasformazioni, modificazioni». Nacque in tal modo l'algebra chimica che permise di scrivere le equazioni delle reazioni chimiche nel modo che ancora oggi usiamo.

2. La demolizione della teoria del flogisto e la costruzione della nuova teoria della combustione, basata sull'intervento essenziale dell'ossigeno.

La fondamentale differenza tra la teoria del flogisto e quella di Lavoisier consisteva nel fatto che mentre secondo la prima la combustione era una reazione di *decomposizione* (il metallo, sostanza composta, cedeva il flogisto), secondo la teoria di Lavoisier la combustione risultava nella *combinazione* dei combustibili (considerati sostanze semplici) con l'ossigeno.

Viceversa, la riduzione con carbone dell'ossido a metallo che nella teoria flogistica era considerata una combinazione, secondo Lavoisier era una decomposizione.

Prova decisiva a favore della teoria di Lavoisier era che il prodotto della combustione (l'ossido nel caso dei metalli) pesava *di più* e non di meno del metallo di partenza. In realtà Boyle aveva già osservato (e pubblicato) un secolo prima che lo zinco nella calcinazione aumentava di peso, ma la cosa non aveva turbato più di tanto i seguaci della teoria del flogisto. Questo comportamento è tipico del pensiero convergente: se un dato non si inquadra nei famosi schemi, semplicemente lo si ignora.

Lavoisier quindi considerava i metalli (e così pure il carbonio, lo zolfo e il fosforo) come sostanze «semplici»; nel suo *Traité* fece propria integralmente la definizione di elemento di Boyle e pubblicò la prima lista di elementi chimici che comprendeva appunto i metalli allora conosciuti.

Come furono accolte le nuove rivoluzionarie vedute di Lavoisier?

Lavoisier stesso era preparato alle opposizioni che le sue idee avrebbero incontrato. In un opuscolo intitolato «*Reflexions sur le phlogistique*» e pubblicato nel 1783, egli riassume i punti salienti della sua teoria: «il mio obbiettivo era di sviluppare in questa memoria la teoria della combustione da me pubblicata nel 1777 e dimostrare che il flogisto di Stahl è una sostanza immaginaria la cui presenza nei metalli, nel fosforo e in tutti i corpi combustibili egli ammise senza alcun fondamento. Tutti i fenomeni di combustione e di calcinazione si spiegano assai più semplicemente e facilmente senza il flogisto piuttosto che con il suo intervento». E aggiunge, pieno di saggezza e comprensione: «non mi attendo che le mie vedute vengano subito accettate. La mente umana si abitua a vedere le cose in un certo modo e chi nel corso di una parte del cammino terreno guardava la natura da un dato punto di vista si converte solo con difficoltà alle nuove concezioni. Bisogna quindi dare tempo al tempo...». E in queste ultime parole c'è l'orgogliosa sicurezza che il tempo gli darà ragione.

Cosa successe nella realtà? Ebbene, c'è una grande differenza tra ciò che avvenne in Francia e fuori di Francia.

In Francia le sue teorie furono rapidamente accolte. Per primi vi aderirono i matematici e i fisici quali Laplace, Monge, Cousin, poi il grande chimico Berthollet, infine tutti gli altri.

Lavoisier era in Francia un'autentica autorità. Giovanissimo, era stato eletto membro dell'Accademia di Francia e pubblicò molti suoi lavori sulle autorevoli Memorie dell'Accademia. Fu in tutta la sua vita un uomo di potere e sia durante gli anni dell'antico regime sia nei primi anni della Rivoluzione, occupò posti importanti e diresse potenti istituzioni (fra l'altro fu membro della commissione pesi e misure che varò il nuovo Sistema metrico decimale). Dico questo perché il prestigio e l'autorità di chi propone una nuova teoria favoriscono la sua accettazione da parte di chi questo prestigio e questa autorità riconosce.

La situazione fu radicalmente diversa fuori di Francia. In Inghilterra, Svezia, Germania l'opposizione alle nuove idee fu tenace. Priestley, Cavendish, Scheele, Black non accettarono la nuova dottrina. Ma dove l'opposizione durò più a lungo e la nuova teoria stentò di più a diffondersi, fu in Germania.

Stahl era un tedesco e la sua difesa ad oltranza fu anche una questione di orgoglio nazionale ferito. Non era accettabile che fosse messa in discussione proprio da un francese una teoria nata e affermata in Germania.

C'era poi un altro fattore che forse inconsapevolmente ha giocato un ruolo. La Francia era la sede della Rivoluzione. Per oltre un quarto di secolo, dalla presa della Bastiglia fino alla fine del periodo napoleonico, le idee che venivano dalla Francia erano viste con terrore e con orrore dai benpensanti e dai conservatori di tutta Europa. Ebbene, che la Francia volesse esportare una rivoluzione anche nella scienza, questo era troppo!

Erano patetici i tedeschi, nella difesa ad oltranza di quello che era obbiet-

tivamente indifendibile. Poiché il punto incontrovertibile era che nel processo di combustione il metallo aumentava di peso trasformandosi nell'ossido, arrivarono, per renderlo compatibile con la teoria del flogisto, a sostenere che il flogisto aveva un peso negativo!

Però la forza delle idee giuste è inarrestabile e ad uno ad uno gli oppositori si arresero all'evidenza. All'inizio del secolo nuovo non c'erano più sostenitori del flogisto.

La chimica nei vent'anni dopo la tragica fine di Lavoisier sulla ghigliottina, ebbe uno sviluppo straordinario. Le idee di Lavoisier si dimostrarono estremamente fertili e feconde. L'uso sistematico della bilancia portò alla scoperta delle leggi delle proporzioni definite e delle proporzioni multiple che consentirono a Dalton di sviluppare, questa volta su basi molto più solide, la teoria atomica.

Adesso non mi dilungherò sull'accoglienza che la teoria atomica ricevette nel mondo scientifico perché non ho scelto di includere anche Dalton — come certo avrei potuto — fra gli esempi con cui illustrare il mio assunto. Dirò solo che la teoria di Dalton soffriva fin dall'inizio dell'ambiguità legata al fatto che essa parlava di atomi anche quando si riferiva ai corpi composti, non facendo in pratica distinzione tra il concetto di atomo e quello di molecola. I due stessi termini (di atomo e molecola) venivano usati come sinonimi. Questa ambiguità portò ad una evidente contraddizione tra l'ipotesi di Dalton e la legge dei volumi di Gay Lussac. Gay Lussac osservò che quando un volume di idrogeno reagisce con un volume di cloro si formano due volumi di acido cloridrico mentre l'ipotesi di Dalton prevedeva la formazione di un solo volume.

La contraddizione fu risolta dalla teoria molecolare di Amedeo Avogadro riportata in una memoria³ intitolata «Essai d'une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps, et les proportions selon lesquelles elles entrent dans ces combinaisons» e pubblicata sul *Journal de Physique* nel 1811.

In questo lavoro — che oggi è a ragione considerato una pietra miliare nella storia della scienza — Avogadro espone una serie di nuove idee rivoluzionarie di grande rilevanza storica e scientifica. In particolare:

— per la prima volta fa una chiara distinzione tra i concetti di molecole (chiamate da Avogadro «molecole integrali») e di atomi (per Avogadro «molecole elementari») «Molecole» sono le più piccole particelle di una sostanza capaci di esistere permanentemente allo stato libero, «atomi» sono le più piccole particelle capaci di prender parte a un mutamento chimico.

— per la prima volta stabilisce che una molecola di acqua è costituita da due atomi di idrogeno e da un atomo di ossigeno.

³ A. AVOGADRO, «Essai d'une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps, et les proportions selon lesquelles elles entrent dans ces combinaisons», *Journal de Physique*, LXXIII, 58-76 (1811).

— per la prima volta, suggerisce che le molecole degli elementi possono essere poliatomiche. In particolare Avogadro afferma che le molecole di idrogeno, ossigeno, azoto e cloro contengono tutte *due* atomi.

— per accordare la teoria atomica di Dalton con la legge dei volumi di Gay Lussac, espone la famosa ipotesi (oggi conosciuta come legge di Avogadro): *uguali volumi di gas diversi alle stesse condizioni di temperatura e pressione contengono lo stesso numero di molecole.*

— applicando il metodo delle densità gassose, determina, finalmente in modo corretto, i pesi atomici di numerosi elementi, tra cui idrogeno, ossigeno, azoto e carbonio.

Queste idee sono state successivamente riesaminate e approfondite da Avogadro in una serie di eccellenti lavori pubblicati tra il 1814 e il 1821.

Sfortunatamente queste idee (e soprattutto la fondamentale distinzione tra atomi e molecole) non ebbero buona accoglienza nel mondo scientifico, per la meschinità di alcuni chimici grandi e la insipienza degli uomini piccoli. Dalton era timoroso che la teoria molecolare di Avogadro avrebbe oscurato la sua teoria atomica (e non era così, anzi la sua teoria ne avrebbe tratto luce!); Berzelius non poteva ammettere che nelle molecole degli elementi potessero coesistere due atomi uguali, essendo ciò in chiaro contrasto con la sua teoria dualistica, secondo la quale i legami chimici si stabiliscono solo tra atomi di elementi aventi opposte proprietà elettriche. Dalton e Berzelius avevano immensa autorità e influenza e la massa dei chimici senza personalità pedissequamente li seguì. Risultato: la confusione continuò, anzi crebbe per un cinquantennio, finché fu convocato nel 1860 a Karlsruhe in Germania un congresso internazionale proprio con lo scopo di mettere ordine in quella Babele e cercare di far chiarezza tra i concetti di atomo, molecola, peso atomico, peso molecolare, peso equivalente. In quella sede, grazie soprattutto a Stanislao Cannizzaro, fu finalmente riconosciuto il contributo fondamentale di Avogadro e sulla sua teoria fu costruito il nuovo sistema delle conoscenze chimiche. Ma Avogadro era morto alcuni anni prima, oscuro professore, sconosciuto alla maggioranza dei suoi colleghi.

Se noi, oggi, andiamo a rileggere l'intera produzione scientifica di Avogadro restiamo ammirati ed emozionati nel vedere quante idee moderne siano presenti in essa, così in anticipo rispetto ai tempi.

In una memoria⁴ del 1809 Avogadro per primo affermò, in contrasto con quelle che erano le opinioni correnti, che la presenza dell'ossigeno non è essenziale per l'acidità e che in effetti esistono acidi non ossigenati come l'acido cloridrico e l'acido solfidrico. È la presenza dell'idrogeno e non dell'ossigeno (come aveva ritenuto Lavoisier) a caratterizzare gli acidi. Nello stesso articolo (intitolato

⁴ A. AVOGADRO, «Idées sur l'acidité et l'alcalinité», *Journal de Physique*, LXIX, 142-148 (1809).

«Ideas sur l'acidité et l'alcalinité») egli ammise che l'acidità e l'alcalinità sono proprietà relative: una sostanza può comportarsi come un acido o come una base a seconda dell'altra sostanza con cui è posta a reagire. È sostanzialmente ciò che Brönsted e Lowry enunciarono circa un secolo dopo!

In un altro articolo egli per primo propose una «serie elettrochimica» estesa a tutti gli elementi e non limitata solo ai metalli, come si usava a quel tempo. (Oggi, in qualsiasi libro di chimica generale la tabella dei potenziali include tutti gli elementi, metalli e non-metalli).

In una serie di articoli sull'elettricità e il magnetismo studiò il comportamento di un materiale isolante interposto tra due superfici con cariche opposte e suggerì che l'induzione elettrica si genera attraverso la polarizzazione del dielettrico: questo, alcuni anni prima di Faraday, al quale la scoperta è usualmente attribuita.

Infine in una memoria del 1849 Avogadro introduce un modello per lo stato solido, sorprendentemente moderno.⁵ Egli si riferisce allo stato metallico come a un'immensa molecola in cui i singoli atomi sono immersi in una atmosfera di «corpi imponderabili». Come ha messo recentemente in evidenza Linus Pauling, questo modello corrisponde esattamente a quello oggi accettato se solo sostituiamo l'espressione usata da Avogadro «atmosfera di corpi imponderabili» con il termine moderno «nuvola di elettroni». (Si noti che al tempo di Avogadro gli elettroni non erano stati ancora scoperti!).

Oggi la comunità scientifica internazionale in riconoscimento dei grandi contributi dati da Avogadro alla chimica e forse quale riparazione per non averlo capito quando lui era in vita, gli ha dedicato una delle costanti universali della natura, il numero N (detto appunto di Avogadro), cioè il numero delle molecole contenute in una mole di qualsiasi sostanza, $6,023 \cdot 10^{23}$.

Dopo il congresso di Karlsruhe e la definitiva accettazione della teoria molecolare da parte del mondo scientifico, il progresso chimico conobbe un'altra vigorosa accelerazione. Stabiliti finalmente con chiarezza i pesi atomici degli elementi, fu possibile individuare la periodicità delle loro proprietà e si arrivò al sistema periodico di Mendeleev.

Anche la Chimica organica trasse enorme beneficio dalla teoria molecolare: rapidamente si giunse alla corretta determinazione delle formule molecolari dei composti organici e poco dopo alla formulazione della teoria strutturale di Cooper, Kekulé e Butlerov.

E siamo così arrivati a Van't Hoff, il padre della moderna stereochimica.

Per spiegare l'esistenza di un nuovo tipo di isomeria che era stato evidenziato negli acidi lattici, l'olandese Jacobus Henricus Van't Hoff che all'epoca

⁵ La memoria è citata da G.B. Marini Bettolo nella relazione «Contributi italiani allo sviluppo della chimica» presentata al Convegno «La Chimia: storia, fondamentali, prospettive», Roma 1989 e pubblicata su *Rendiconti dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL*, vol. XV, tomo 1, parte II, p. 19 (1991).

aveva solo ventidue anni e lavorava fuori dalle strutture accademiche in un istituto di veterinaria, pubblicò nel 1874 una memoria⁶ in lingua olandese, il cui titolo tradotto in italiano suona così: «Proposta di sviluppare nello spazio le attuali formule strutturali chimiche, con osservazioni sui rapporti tra potere rotatorio e costituzione chimica nei composti organici».

La grande novità consisteva nel fatto che le molecole dovevano essere viste come entità tridimensionali e le quattro valenze dell'atomo di carbonio dovevano essere immaginate dirette verso i vertici di un tetraedro.

Nella memoria, un atomo di carbonio veniva definito *asimmetrico* quando le sue quattro valenze erano unite a quattro gruppi atomici differenti. In questo caso vengono a mancare nella molecola elementi di simmetria ed esistono due (e solo due) configurazioni che sono l'una l'immagine speculare dell'altra e non sono sovrapponibili: a queste due configurazioni corrispondono due stereoisomeri, uno dei quali devia il piano della luce polarizzata verso destra, l'altro verso sinistra. Nel caso particolare degli acidi lattici i gruppi differenti legati al carbonio asimmetrico erano il metile, il carbossile, l'ossidrile e l'atomo di idrogeno.

Nella memoria in questione Van't Hoff espone i postulati fondamentali della sua teoria (che qui non è il caso di riportare) che rappresentano le basi di una nuova scienza: la stereochimica.

Nei mesi successivi il giovane Van't Hoff approfondì la sua teoria, spiegando anche l'isomeria dei derivati etilenici e quelli degli alleni e nel 1875 pubblicò una nuova e accresciuta edizione della sua memoria, questa volta in lingua francese «La chimie dans l'espace».

La sconvolgente teoria fu accolta nei casi migliori con freddezza e scetticismo, in quelli peggiori con reazioni inconsulte. L'ipotesi del giovanissimo sconosciuto appariva a molti troppo astratta e fantasiosa. Stupisce che a questo rifiuto si associassero anche i padri della teoria strutturale, il russo Butlerov e il tedesco Kekulé (che pure, alcuni anni prima, aveva proposto la tetraedricità del carbonio), sebbene la nuova teoria rappresentasse uno sviluppo logico della teoria strutturale. Probabilmente giocavano il rammarico per non esserci arrivati loro e la gelosia verso il giovane nuovo protagonista che si affacciava sulla scena della Scienza mondiale a togliere la luce della ribalta ai vecchi primattori.

Altri chimici del tempo, M. Berthelot, W. Lossen, A.W. Kolbe si schierarono apertamente contro la nuova teoria. Fu una lotta generazionale: i chimici della generazione precedente ritenevano insopportabile che il loro modo di pensare agli atomi e alle molecole dovesse essere messo radicalmente in discussione a opera di un giovanissimo chimico sconosciuto che per di più lavorava fuori dalle strutture accademiche, addirittura in un laboratorio di veterinaria!

Le espressioni usate da Kolbe nel suo articolo «Zeichen der Zeit» («Segni

⁶ J.H. VAN'T HOFF, *Arch. Néerl. Sci.*, 9, 445-454 (1874).

del tempo») apparso nel 1877 sul *Journal für Praktische Chemie*⁷ sono indicative dell'eccitazione provocata dalle nuove idee e dal basso livello cui era scesa la polemica: «Nell'articolo da poco pubblicato [quello di Van't Hoff, peraltro già pubblicato da tre anni] ho individuato come una delle cause della presente decadenza degli studi chimici in Germania sia da ricercare nella limitata cultura chimica generale e di base di molti nostri professori. Una conseguenza di ciò è la crescita della malerba della filosofia naturale che vorrebbe apparire scientifica e fruttuosa ma è invece banale e insensata. Definitivamente debellata cinquant'anni fa e sostituita dalla seria ricerca sperimentale, la filosofia naturale è al tempo d'oggi rimessa di nuovo in circolazione ad opera di pseudo ricercatori che sono andati a ripescarla nella pattumiera che raccoglie i rifiuti della mente umana». E continua, con ironia sempre più pesante: «Essi [gli pseudo ricercatori] vorrebbero introdurre questa ragazza leggera [leggi: la filosofia naturale], dopo averla ben truccata e vestita con abiti alla moda, nella buona società, dove non c'è posto per lei». «Coloro che ritenessero eccessive queste mie preoccupazioni dovrebbero leggere (se ne sono capaci) l'articolo totalmente fantasioso del signor Van't Hoff sulla disposizione degli atomi nello spazio. Avrei taciuto su questo lavoro come ho già fatto in passato su tanti altri analoghi, se un chimico illustre [Kolbe si riferisce a J. Wislicenus] non lo avesse preso sotto la sua protezione, decantandolo come un importante contributo scientifico».

E prosegue, con crescente sarcasmo: «Quel certo signor Van't Hoff, che lavora in un laboratorio di una scuola di Veterinaria non predilige certo la ricerca chimica seria ed esatta; egli preferisce piuttosto montare su Pegaso (presumibilmente noleggiato alla scuola di veterinaria) e scoprire nella sua "chimica nello spazio" come gli appaiono gli atomi nell'Universo dall'alto del Parnaso chimico, raggiunto grazie al suo ardito volo».

E conclude, riferendosi sempre a Van't Hoff: «Il gioco della sua fantasia è totalmente mancante di basi reali ed è assolutamente incomprensibile ai ricercatori seri e di buon senso. [...] È veramente un triste segno dei tempi attuali che un chimico sconosciuto che lavora in un istituto di veterinaria, osi affrontare problemi complessi ed ardui come la disposizione degli atomi nello spazio con una sfrontata sicumera che francamente offende i veri ricercatori seri della natura».

Quanto a Wislicenus che aveva osato approvare e addirittura esaltare un articolo di tal genere, secondo Kolbe «ha cessato di far parte della schiera dei veri scienziati per passare nel campo dei filosofi naturalistici (di infausta memoria) che solo un sottilissimo stecato separa dal campo dagli spiritisti».

La scoperta era comunque ormai matura. Subito dopo Van't Hoff e indipendentemente da lui, il francese J.A. Le Bel⁸ era arrivato alle stesse conclu-

⁷ H. KOLBE, «Zeichen der Zeit», *Journal Pract. Chemie*, XV, 473, 1877.

⁸ J.A. LE BEL, «Relation entre la constitution chimique et le pouvoire rotatorie», *Bull. Soc. Chim. de Paris*, XXII, 337 (1874).

sioni, partendo da premesse diverse. Negli anni successivi, dopo Wislicenus, anche altri illustri chimici come W. Ostwald, C.A. Wurtz, H.H. Landolt riconobbero esplicitamente la validità dell'idea rivoluzionaria di Van't Hoff. E. Fisher, A. Baeyer, V. Meyer, P.I. Walden, A. Werner con le loro ricerche, ne consacrarono definitivamente il trionfo.

Quanto a Van't Hoff, trasferitosi nell'Università di Utrecht, ebbe una carriera scientifica trionfale. Il suo spirito creativo, dopo aver praticamente fondato la stereochimica, contribuì negli anni successivi ad aprire altri settori completamente nuovi della chimica.

Applicando per primo le leggi della termodinamica ai processi chimici, può essere oggi considerato il padre della termodinamica chimica. Per le sue ricerche sulla pressione osmotica e sulle proprietà delle soluzioni e per i suoi pionieristici studi sugli equilibri e sulla cinetica chimica, egli può a buon diritto essere considerato uno dei padri della Chimica Fisica.

Il mondo scientifico lo riconobbe premiando questo gigante con il conferimento del primo Premio Nobel per la Chimica, nel 1901.

Giunti al termine di questa carrellata, è il momento di riassumere e di concludere.

I grandi balzi in avanti della chimica sono stati opera di relativamente pochi uomini altamente geniali e creativi.

Verso le grandi idee innovative e rivoluzionarie c'è però una sorta di rigetto da parte della comunità scientifica che tenta in tutti i modi di mantenere lo «statu quo».

Questo rigetto si manifesta in due modi: quando l'idea è troppo in anticipo sui tempi, semplicemente ignorandola e non comprendendola (lo abbiamo visto con gli esempi di Boyle e Avogadro); quando l'idea è matura, con una opposizione frontale che può assumere toni scomposti e grotteschi (lo abbiamo visto con gli esempi di Lavoisier e Van't Hoff).

Se però le idee sono buone, prima o dopo esse vengono accolte e la Scienza va avanti.