ANTONINO DRAGO *

La maniera di ragionare di Lavoisier, Dalton e Avogadro durante la nascita della teoria chimica

The birth of chemical theory in Lavoisier, Dalton and Avogadro: Their common way of arguing

Summary – Elsewhere I illustrated Lavoisier's revolution in chemistry, including the use of non-classical logic. In the present paper I will analyse the use of non-classical logic by those chemists, i.e. Lavoisier, Dalton and Avogadro, who played a decisive role for the birth of classical chemistry. In particular, I will remark their increasing accurateness in making use of this kind of arguing, till up to make use of *ad absurdum* arguments. By comparing their thinking with contemporary scientific theories that made use of non-classical logic – i.e. S. Carnot's thermodynamics and Lobachevsky's non-Euclidean geometry – I will investigate why classical chemists did not achieved an entire organisation of their theory; this organisation, in agreement to non-classical logic, is an alternative one to the common deductive organisation. As a last point the basic question of the mathematisation of classical chemistry will be discussed.

Key words: Chemistry, non-classical Logic, Lavoisier, Dalton, Avogadro

1. *La maniera di ragionare di Lavoisier.* In un precedente studio sulla rivoluzione di Lavoisier [12], ho notato che la sua maniera di ragionare era del tutto nuova rispetto a quella dei matematici e fisici, di solito strettamente deduttiva, perché il suo oggetto di studio era del tutto originale rispetto alla fisica teorica del tempo. Essa aveva bisogno di ragionare su oggetti, gli elementi della materia, che allora non erano direttamente osservabili; quindi era un ragionare scientifico su un mondo diverso dal nostro (sull'*inconnu*, dice Lavoisier)[1]. Essa è di logica non clas-

* Università di Pisa e Università di Firenze. Via F. Benvenuti, 3 - 56011 Calci. E-mail: drago@unina.it

[1] Si può fra risalire questo modo di ragionare a Nicolò Cusano [5], il primo filosofo dell'infinito, cioè il primo che indaga con la matematica (e con altre branche del sapere umano) su ciò che non appartiene al nostro mondo. Vedasi il mio [14].

sica, perché basata su frasi doppiamente negate che non sono equivalenti alle corrispondenti affermative, per mancanza di evidenza sperimentale di queste ultime (FDN; nel seguito le due negazioni in ogni FDN saranno sottolineate; inoltre alcune parole modali, che in effetti sono FDN, saranno scritte in corsivo). I logici matematici del sec. XX hanno mostrato che quando non vale la legge della doppia negazione si sta ragionando in logica non classica (ad es., in logica intuizionista, che è stata formalizzata da Kolmogoroff come logica della risoluzione di problemi [22]).

Al fine di studiare quale sia questa nuova maniera di ragionare degli scienziati che hanno determinato la nascita della teoria chimica, qui la si caratterizza esaminando i testi originali di Lavoisier [25], di Dalton [6] e di Avogadro [1].

Iniziamo da Lavoisier, prendendo in considerazione l'opera con la quale egli, nello stesso anno della rivoluzione francese, dichiarò di voler fare una «rivoluzione» [25]. Giusto nelle prime righe del «Discours préliminaire» del suo libro egli riporta le affermazioni principali dell'Abbé de Condillac riguardanti il linguaggio, ma in realtà la logica (Per ragioni di spazio, lascio al lettore il compito di verificare che ogni FDN appartiene alla logica non classica, cioè che non è equivalente alla corrispondente affermativa):

> «…nous ne pensons qu'avec le secours des mots … les langues sont des véritables méthodes analytiques… l'algèbre la plus simple, la plus exacte et la mieux adaptée à son objet de toutes les manières de s'énoncer, est à la fois une langue et une méthode analytique… l'art de raisonner se réduit à une langue bien faite» (p. 1).

Lavoisier spiega che una scienza è «fatta di tre cose: la serie dei fatti, le idee e le parole». E la scienza procede in ordine inverso: «la parola deve far nascere l'idea, l'idea deve dipingere il fatto». Da qui la necessità, per far avanzare la scienza, di perfezionare il linguaggio fin nelle parole:

> «on ne peut perfectionner le language sans perfectionner la science, ni la science sans le language, et que, quelques certains fussent les faits, quelques justes que fussent les idées qu'ils auraient fait naître, il ne transmettraient que d'impressions fausses, si nous n'avions pas des expressions exactes pour les rendre» (p. 2).

Poi spiega perché l'ordine del suo testo di chimica è diverso dal solito; egli ha seguito questo «principio»: «nous ne pouvons proceder pour nous instruire, que du connu à l'inconnu»; dunque, non con la logica deduttiva, ma con quella induttiva[2].

> «Le seul moyen de prévenir ces écarts consiste à supprimer, ou au moins à simplifier autant qu'il est possibile, le raisonnement, qui est [originé] de nous et qui seul peut nous égarer; à le mettre continuellement à la preuve de l'ésperience…; à ne chercher la verité que dans l'enchaînement naturel des éxperiences et des observations,… qu'ils ne perdent jamais de vue l'evidence qui leur sert de guide». Cosicché «je me suis imposé de ne proceder jamais que du connu à l'inconnu, de ne déduire aucune conséquence qui ne derive immédiatement des éxperiences et des observations…» (p. 4).

[2] Questo è un costume mentale che egli ha acquisito sin dall'inizio della sua formazione scientifica [20].

Il che comporta un contrasto con le opinioni autorevoli dei chimici precedenti, che volevano dedurre la teoria chimica dall'ipotesi aprioristica delle affinità newtoniane; perché «je n'ai pas cru devoir compliquer par d'aussi grandes difficultés des éléments simples et faciles…» (p. 6); quindi, nessuna ipotesi a priori con cui ragionare deduttivamente. E così arriva alla questione degli atomi.

> On ne manquera pas d'être surpris de ne point trouver dans un traité élémentaire de chimie un chapitre sur les [traditionelles] parties constituentes et élémentaires des corps; mais je ferai remarquer ici cette tendence, que nous avons à vouloir que tous les corps de la nature ne soient composés que de trois ou quatre éléments, tient à un préjugé… On n'avait encore des faits, et l'on formait des systèmes [abstraits]… Une chose très remarquable c'est que, tout enseignant la doctrine des quatre éléments, il n'est aucun chimiste, qui par la force des faits, n'ait pas conduit à en admettre un plus grand nombre… Tout ce qu'on peut dire sur le nombre et sur la nature des éléments se borne, suivant moi, à des discussions purement métaphysiques [= pas physiques]: ces sont des problèmes indeterminés qu'on se propose de résoudre, qui sont susceptibles d'une infinité de solutions, mais dont il est très probabile qu'aucun en particulier n'est d'accord avec la nature. Je me contenterai donc de dire que, si par le nom d'éléments nous intendons désigner les molécules simples et indivisibile qui composent les corps, il est probabile que nous ne les connaissons pas; que, si, au contraire nous attachons au nom d'éléments ou de principes des corps l'idée d'un dernier terme auquel parvient l'analyse, toutes les substances que nous n'avons pu décomposer par aucun moyen sont pour nous des éléments; non pas que nous puissons assurer que ces corps, que nous regardons comme simples, ne soient pas eux-meme composés de deux ou même d'un plus grand nombre de principes; mais puisque ces principes ne se séparent jamais, ou plutot puisque [aujourd'hui] nous n'avons aucun moyen pour les séparer, ils agissent à nostre égard à la manière des corps simples, nous ne les devons supposer composés [= pas simples] qu'au moment où l'éxperience et l'observation nous aurons fourni la preuve [de la décomposition]» (p. 6-8).

Tutto ciò deve essere messo in relazione con quanto spiega Condillac a proposito dell'uso matematico di una incognita per risolvere problemi, che così vengono ridotti ad equazioni algebriche; questa incognita è un numero non noto, ma entra in relazione con ciò che già conosciamo; cosicché possiamo manipolare le sue relazioni, per giungere ad una uguaglianza che ci fa conoscere la sua realtà [3].

Il finale del discorso è ancora una volta una citazione di Condillac sul rapporto tra linguaggio e logica:

> «… l'art d'abuser des mots sans les bien entendre a été pour nous [malheureusement] l'art de raisonner… [il faut] reprendre nos idées à leur origine, d'en suivre la géneration, et de refaire, comme dit Bacon, l'entendement humain…» (p. 15).

Si noti che l'elenco delle FDN preserva la struttura del discorso di Lavoisier; la quale è diversa da quella del ragionare deduttivo.

Anche in altri luoghi cruciali Lavoisier usa FDN. Lo aveva fatto quando con Laplace aveva scritto la famosa *Mémoire sur la chaleur*. Le sue FDN sono state esaminate altrove [19]. Non ce ne sono molte, ma sufficienti per catturare il nucleo

del discorso relativo alle due ipotesi allora possibili sulla natura del calore. Ed è interessante che ci sono due FDN che possono essere interpretate come sintesi di ragionamenti per assurdo: una, di Laplace, inizia una possibile teoria astratta dei fenomeni e un'altra, di Lavoisier, conclude la teoria sperimentale. Lavoisier poi ha ragionato con FDN anche quando ha scritto: «È impossibile dubitare della decomposizione dell'acqua» [26]. E, ancor più importante, quando ha dichiarato la sua scoperta oggettiva: «Rien est crée [= pas conservé]…; et un principe possible [de la méthode] est que dans chaque operation la quantité de matière avant et après l'operation est la même» [27].

In effetti, ai fini del nostro studio, bastava riportare le FDN sulla costituzione degli elementi, cioè quelle delle sue pagg. 6-8; esse costituiscono il cuore del programma di Lavoisier, derivato dal logico Condillac. Ho aggiunto le altre FDN per mostrare che quel tipo di frasi è usato regolarmente. Non ne studio la sequenza perché questo ragionare mediante FDN può arrivare a delle conclusioni solo con argomentazioni per assurdo. Quindi soprattutto la presenza di questo tipo di argomentazione indica se l'autore procede in logica non classica in maniera rigorosa. Negli scritti da me studiati di Lavoisier ho trovato solo quell'argomentazione per assurdo già indicata.

In verità, questo modo di ragionare dei chimici era iniziato ancor prima di Lavoisier. Già all'origine della chimica, R. Boyle enunciò i suoi principi (di metodo) con quattro affermazioni, delle quali tre incominciano con FDN: «Non sembra assurdo…»; «Non è parimenti impossibile…»; «Non negherò perentoriamente che….» [2].

Dopo Lavoisier, altri chimici (oltre Dalton e Avogadro, che verranno visti in dettaglio nel seguito) hanno ragionato con FDN. Ad esempio Proust: «non ammettere nulla provvisoriamente, o oltre quello che i fatti mettono avanti al momento presente…» [30]. Oppure Wallastone:

> «… if it can be ascertained that any body consists of particles no longer divisible, we then scarcely doubt that all other bodies are similarly consisted; and we may without hesitation conclude that those equivalent quantities, which we have learned to appreciate by proportionate members, do really express the relative weights of elementary atoms» [32].

Poi Kekulé: «I do not hesitate in saying that, from a philosophical point of view, I do not believe in the actual existence of a-toms, taking the word in its literal significance of in-divisible particles» [21].

2. *La maniera di ragionare di Dalton.* In un articolo egli scrive: «When an element A has an affinity to another B, I see no mechanical reason why it should not take as many atoms of B as are presented to it» [7]. Ma si possono considerare molte altre opere di Dalton dove si trovano FDN; la più famosa è quella del 1808 [6], dove discute sulla costituzione delle sostanze e quindi sull'ipotesi atomica (purtroppo solo in ultimo e quasi frettolosamente). Egli enuncia così i suoi due principi di base:

> «No new creation or destruction of matter is within the reach of chemical agency… All the changes we can produce, consist in separating particles that are in a state of cohesion or combination, and joining those that were previously at a distance» (p. 165). E poco prima aveva detto: «…we seem persuaded that, let the divisions be ever so minute, the number of particles *must* be [= cannot be different from] finite; just as in a given space of the universe, the number of stars of planets cannot be infinite» (p. 162).

Come pure, molto avanti c'è la sua definizione:

> «By elementary principles, or simple bodies, we mean such as have not been decomposed, but are found to enter into combination with other bodies. We do not know that anyone of the body denominated elementary, is absolutely [= in abstract terms] in-decomposable, but it ought to be called simple, till it cannot be analyzed» (vol. II, 221-222) [6].

Però è nel più problematico capitolo II, «On the Constitution of the Pure elastic Fluids», che egli lavora sull'ipotesi degli atomi, chiedendosi: «Whether the ultimate particles of a body, such as water, are all alike, that is, of the same figure, weight, etc…». Per risolvere questo problema, inizia a ragionare dicendo:

> «From what is known, we have no reason to apprehend a diversity in these particulars…» e prosegue per assurdo: «Now it is scarcely possible to conceive how the aggregate of dissimilar particles should be so uniformly the same. [perché] If some of the particles of water were heavier than others,… it must be supposed to affect the specific gravity of mass, a circumstance not known… Therefore we conclude that *the ultimate particles of all homogeneous bodies are perfectly alike in weight, figure, etc.*» (p. 113, corsivo nel testo).

Un ulteriore problema che lo fa ragionare con FDN è quello del lungo capitolo successivo, par. 1: «On the Constitution of Mixed Elastic Fluids». Qui egli discute gli effetti delle misture di due gas non interagenti, i quali occupano il volume doppio, ma si diffondono tra di loro qualsiasi sia il loro peso. «The fact admits no doubt» (p. 119). Il problema è come spiegare ciò:

> «… the diffusion of through each other was a circumstance which did not admit of an easy solution any other way» (p. 120). Ma «de Saussure found however that there was no difference in this respect in the solvent powers of carbonic acid, hydrogen gas, and common air» (pp. 120-121). Egli allora afferma che: «The distinguishing feature of the new theory was, that the particles of one gas are not elastic or repulsive in regard to the particles of another gas, but only to the particles of their own kind… each acts in-dependently… just as the other were absent…, it could have nothing but its own weight to support» (pp. 121-122) tanto più che «… none of the results, as far I know, have been contraverted» (p. 123). Per cui «… if any particle of [gas] B were casually to come in contact with one of [gas] A, and press against it, this pressure did not preclude the contemporary action of all the surrounding particles of A upon the one in contact with B… [it] is not disturbed…» (pp. 123-124).

Da notare anche la frase sull'equilibrio di un gas soggetto a gravità: «In the open athmosphere no equilibrium can take place[,] in such case till the particles have ascended so far as to be restrained by their own weight…» (p. 146).

Però nel testo egli usa sovente doppie negazioni di tipo discorsivo (ad es. «cannot be denied» p. 98, «no one would object» p. 99, «no change» p. 102, «little doubt» p. 116, ecc.); esse non contribuiscono allo sviluppo logico del suo ragionamento. Quindi si può affermare che Dalton usa le FDN sia come sua modalità di scrivere, sia come argomentazione logica su qualcosa di scientificamente importante (ad es., la legge sulle pressioni parziali dei gas perfetti nelle misture, alla quale dedica il maggior spazio del suo libro: 28 pagine su 165). In generale le usa per fondare euristicamente leggi; ma non ci fonda una teoria, che in effetti è ancora allo stato di singole leggi sparse.

3. *La maniera di ragionare di Avogadro.* Basterà vedere come Avogadro manifesta le sue idee per la prima volta [1]. Esamineremo i primi due degli otto paragrafi della memoria, quelli che discutono dell'ipotesi atomica.

All'inizio, egli ricorda che nel 1809 Gay-Lussac aveva dimostrato «que les combinations des gaz entre eux se font toujours des rapports très-simples en volume, et que lorsque le résultat de la combinaison est gazeux, son volume est aussi en rapport très simple avec celui de ses composans». Lo scopo di Avogadro allora è di spiegare questi fatti, traducendo i dati macroscopici obiettivi in una ipotesi sul mondo microscopico. A causa della mancanza di esperimenti diretti, il ragionamento è di natura ipotetica e quindi egli usa frasi FDN. Inizia con una ipotesi semplice:

> «Les rapports des quantités de substances dans les combinaisons ne paroissent pouvoir dépendre que du nombre relatif des molécules qui se combinent, et celui des molécules composées qui en résultent. Il *faut* donc admettre qu'il y a [= il n'est pas vrai qu'il n'aie pas] aussi des rapports très simples entre les volumes des substances gazeuses, et le nombre des molécules simples ou composées qui les forment».

Poi egli abbozza la prima parte della sua ipotesi:

> «L'hypothèse qui se présent la prémière à cet égard, et qui paroit même la seule [= non autre] admissible, est de supposer que le nombre des molécules intégrantes dans le gaz quelconques, est toujours le même à volume égal ou est toujours proportionnel aux volumes».

Avogadro si rende conto della natura speculativa della sua ipotesi; perciò cerca di dimostrarla con una argomentazione per assurdo: la ipotesi opposta («le nombre des molécules contenues dans un volume donné fut différent pour les différents gaz») impedirebbe di stabilire qualsiasi connessione tra i modelli sul mondo microscopico e i dati sperimentali macroscopici; cioè:

> «… il ne seroit guère possibile de concevoir que la loi qui présideroit à la distance des molécules pût donner, en tout cas, des rapports aussi simples, que les faits que nous venons de citer, nous obligent à admettre entre le volume et le nombre des molécules».

Qui egli sta utilizzando il principio metodologico: è impossibile che i rapporti di combinazione tra i corpi macroscopici non siano determinati dai rapporti mole-

colari. Si noti che Avogadro si riferisce solo ai risultati di Gay-Lussac, senza avanzare ipotesi sulla costituzione della materia. Dopo aver riconosciuto una relazione tra i volumi gassosi e il numero delle molecole, egli ora deve caratterizzare la maniera di interagire delle molecole; qui propone un modello di come le molecole siano legate al calorico; per la natura ipotetica del modello egli ragiona euristicamente con FDN. Egli dice che ogni sostanza allo stato gassoso, cioè la materia rarefatta, attrae sì il calorico in una maniera specifica, ma

> «sans que la atmosphère [du calorique] formée par ce fluide ait plus d'étendu pour les unes que pour les autres, et par conséquent, sans que la distance entre les molécules varie, ou, en d'autres termes, sans que le nombre des molécules contenues dans un volume donné soit lui-meme différent».

Poi ricorda che Dalton sostiene la affermazione opposta: la quantità di calorico che è attratta da ogni diversa sostanza gassosa è la stessa, ma è condensata in maniera diversa a secondo della affinità di quella sostanza. Ma allora dovrebbe esserci varietà di distanze tra le molecole in gas diversi. Avogadro lo nega perché noi siamo «dans l'obscurité [éxperimentale]… sur la manière dont cette attraction des molécules sur le calorique s'excerce». Invero questa ignoranza porterebbe «à adopter une hypothèse mixte, qui feroit varier la distance des molécules et la quantité de calorique selon des lois inconnues». Invece l'ipotesi «que nous [= Avogadro] venons de proposer» deve essere preferita, perché è basata «sur cette simplicité de rapport entre les volumes dans les combinaisons des gaz qui paroit ne pouvoir être autrement expliqué». Segue una pagina nella quale Avogadro cerca di applicare le sue idee a diverse sostanze gassose.

Nel paragrafo II della sua memoria Avogadro mostra la corrispondenza tra i volumi dei gas e i numeri delle molecole. Qui deve spiegare il fatto, osservato da Gay-Lussac, che due volumi di idrogeno si combinano con uno di ossigeno per darne due di acqua. Egli ammette che a prima vista il fatto si oppone alla sua teoria sui corpi composti; però egli offre una spiegazione, che si riferisce alla corrispondenza, detta prima, tra i volumi gassosi e il numero delle molecole. Ipotizza che nelle reazioni chimiche le molecole reagenti che vanno nelle molecole dei prodotti, si possano dividere in due parti. Nel caso della formazione dell'acqua, una molecola di ossigeno si divide in due «molécules élémentaires», ognuna delle quali va a formare una molecola gassosa. Egli poi dimostra la seconda parte di questa affermazione con due ragionamenti per assurdo. Il primo ragionamento si basa sul fatto che le masse dei corpi composti debbono corrispondere in qualche modo alle masse dei corpi semplici:

> «La possibilité de ce partage des molécules composés auroit pu être conjecturé même *a priori* car sans cela del molécules intégrantes des corps composés de plusieurs substances avec des nombres relatifs de molécules un peu considerables, deviendront d'une masse excessive en comparaison des molécules des corps simples».

Ma questa argomentazione non gli sembra forte. Allora aggiunge un altro ragionamento:

> «D'ailleurs une autre consideration paroit nous obliger d'admettre, dans quelques cas, le partage dont il s'agit; car comment pourroit on concevoir sans cela [= le partage] une véritable combinaison entre deux corps gazeux qui se reuniroient à volumes ègaux, sans qu'il y eût condensation, ainsi que cela a lieu dans la condensation du gas nitreux?» [la domanda ha chiaramente risposta negativa]… Les molécules restant à la meme distance à la quelle l'attraction mutuelle des molécules des chacun de deux gas ne pouvoit s'exercer, on ne pourroit supposer qu'une nouvelle attraction eut eu lieu entre les molécules de l'un et de celles de l'autre [chiaro che Avogadro presuppone che l'interazione tra molecole non può cambiare]; mais dans l'hypothèse [di Avogadro] du partage, on voit bien que la combinaison reduit réellement les molécules différentes à une seule, et qu'il y auroit contraction de tout le volume de l'un des gaz, si chaque molécule composée ne se divisoit pas en deux molécules de même nature».

Cioè: è impossibile spiegare le reazioni chimiche con l'idea che il volume totale dei prodotti è lo stesso di quello dei reagenti, senza appellarsi ad una divisione delle molecole reagenti.

In totale, Avogadro ragiona con FDN fino a costruirci una teoria (quella della esistenza degli atomi), che si articola fino a prevedere dettagliatamente i fenomeni. Il suo sforzo teorico si concretizza in tre argomentazioni per assurdo, che, si può notare, sono legate tra loro. Quindi egli raggiunge un abbozzo di organizzazione di una intera teoria (ricordo che Avogadro non era un chimico sperimentale, ma teorico)[3].

4. *Confronto con la organizzazione di altre teorie scientifiche.* Come si è visto, molti chimici hanno ragionato mediante FDN. In particolare, la discussione sull'ipotesi atomica si è espressa proprio attraverso questo tipo di frasi. Mai, a mia conoscenza, la nascita di una teoria scientifica ha avuto maggiore ambizioni riguardo: il linguaggio, la logica e i ragionamenti scientifici[4]. Nella storia della scienza, la Chimica, più che ogni altra teoria scientifica, ha portato il peso filosofico (specialmente

[3] Si confronti questa interpretazione della nascita della chimica classica con quella data da T.S. Kuhn nell'opera più famosa sulla storia della fisica e della chimica (traduzioni in venti lingue e più di un milione di copie vendute) [23]. Kuhn tratta la chimica solo attraverso alcuni episodi, che potrebbero anche essere considerati decisivi, se lui non li riducesse alle singole scoperte e alle singole leggi. In sostanza, egli non considera la *teoria* della chimica; e quindi non ha idea della logica diversa da quella della fisica usuale, della diversa organizzazione teorica, della diversa matematica (discreta). Nel seguito delle sue ricerche, questa visione ristretta gli ha impedito di interpretare la storia dei quanti, laddove infatti non è riuscito ad applicare il suo schema interpretativo [24]. Di fatto, la storia della chimica di Kuhn non può nemmeno essere comparata con quella, ben più aderente ai fatti fondamentali, di A. Thackray [31] (che però sfortunatamente si ferma proprio prima di Lavoisier).

[4] Attorno a questa nascita ho scritto gli articoli [9] e [10].

con Lavoisier) di suggerire sin dalla nascita una alternativa nel linguaggio e nella logica. Questa novità era richiesta dal suo stesso oggetto di studio: la ricerca di elementi della materia che (allora) non erano sperimentabili; e di fatto tutti, sia gli atomisti che i contrari, usavano FDN. Questo tipo di frase allora rappresenta una sua caratteristica strutturale, almeno nella sua fase genetica, se non nella struttura stessa della sua teoria. Concludiamo che la chimica classica è nata come teoria scientifica prima di tutto perché ha ragionato con (una certa) precisione in una ben definita logica, che per di più non è quella classica.

Negli stessi anni anche alcuni matematici e fisici (quelli alternativi e minoritari) costruivano loro teorie ragionando con FDN. Infatti già nel 1786 Lazare Carnot aveva scritto una *Dissertation* sull'infinito, nella quale egli argomentava mediante una gran quantità di FDN, per spiegare la efficacia della analisi infinitesimale e svelarne per la prima volta i fondamenti effettivi [11]. Nel 1824 il figlio Sadi, seguendo il metodo del padre, impostò la teoria termodinamica su un gran numero di FDN, tanto che esse da sole sintetizzano tutto il filo del discorso teorico [18]. Dal 1826 in poi Lobacevsky fondò la geometria non euclidea sulla base di FDN e teoremi per assurdo [28].

Dal confronto di queste opere si può ricavare un preciso modello di organizzazione della teoria. Essa inizia ponendo un problema generale e poi si sviluppa mediante FDN che portano con ragionamenti per assurdo a trovare un nuovo metodo per risolvere quel problema [16]. L'ultimo ragionamento per assurdo dà una proposizione di natura universale; che, per questo motivo, può essere tradotta in una formula di matematica (che è universale perché vale per tutti i valori delle sue variabili; e che è di logica classica, perché la doppia negazione della uguaglianza di una formula ridà la stessa uguaglianza); con la quale poi la teoria si sviluppa per deduzioni di calcolo.

Ma pochissimi chimici, soprattutto Avogadro, hanno ragionato con argomentazioni per assurdo[5]. Ci si può chiedere il perché[6]. Ricordo che i chimici erano osteggiati dall'ambiente scientifico per il loro ragionare induttivo per FDN su elementi non sperimentabili e quindi non conosciuti direttamente. Inoltre questo loro modo di ragionare ha trovato un ostacolo certamente grande: dover sdoppiare il concetto di elemento in due enti distinti: atomo e molecola. Come abbiamo visto, questo problema fu risolto da Avogadro mediante FDN. Ma, notoriamente, il suo

[5] Un mio primo esame dell'opera di Mendeleieff non ha dato FDN. A parte l'ipotesi di una infedele traduzione dal russo (che ritengo poco probabile), questo fatto resta da spiegare.

[6] Ovviamente nel seguito cercheremo una interpretazione di tipo «internista» alla scienza, senza nulla togliere alle possibili interpretazioni «esterniste» e senza voler privilegiare una delle due. Resta però il fatto che per la prosecuzione dei suoi studi, uno storico della chimica ottiene molto di più da una interpretazione internista, perché questa gli può suggerire ulteriori studi ed approfondimenti; mentre invece le interpretazioni esterniste aggiungono al caso in esame molte più variabili, che lo spostano su un terreno di storia generale, che non è propriamente il suo.

risultato rimase incompreso a lungo tra i chimici. Allora: è stata forse la maniera di ragionare di Avogadro per mezzo di FDN che ai chimici è apparsa troppo ipotetica per appoggiarci una teoria rispettabile (che cioè, secondo l'atteggiamento scientifico dominante, presenta certezze ottenute deduttivamente da principi indiscutibili)? In termini filosofici: è stato forse il nascente positivismo (che era particolarmente forte tra gli scientifici alternativi, quali erano i chimici), che, dando importanza solo ai dati sperimentali, ha allontanato i chimici dai ragionamenti per assurdo e così ha reso improponibili quelle chiare definizioni di atomo e di molecola, che erano state raggiunte da Avogadro?

Chiediamoci ora se i ragionamenti dei chimici hanno ottenuto proposizioni universali con le quali passare alla matematica. Questo tipo di proposizione sembra nascere con la su citata argomentazione di Dalton sulla miscela di gas. Ma abbiamo visto che soprattutto Avogadro ragiona (*en général*, come diceva Lazare Carnot; cioè) per tutte le molecole, senza differenziarle; perciò egli giunge a proposizioni universali (anche se egli non esplicita ciò con un «tutti»). Ma sappiamo che questi ragionamenti furono a lungo ignorati.

Di fatto, per un secolo i chimici non hanno saputo verso quale tipo di organizzazione della loro teoria stessero avanzando (ad es. quella assiomatica di Fourcroy non ebbe seguito). La loro attenzione era schiacciata sul come organizzare, non tanto le leggi della loro teoria, quanto gli elementi che stavano scoprendo; e anche questa organizzazione di elementi materiali fu ottenuta con gran ritardo (tabella di Mendeleieff), nonostante tante anticipazioni. Poi dopo, i chimici hanno allargato il quadro teorico attorno a questa tabella, ma hanno raggiunto solo una parziale organizzazione della intera teoria della chimica classica: essa ha un grande e importantissimo centro, ma non un inizio ed una fine. I quali, nella organizzazione alternativa sono rappresentati rispettivamente da: il porre il problema generale (suggerisco per la chimica: La materia <u>non</u> è divisibile al <u>non</u> finito; ovvero: Chi sono gli elementi della materia macroscopica?) e il concludere con una proposizione universale su tutti gli elementi (suggerisco: quella di Avogadro, o meglio quella attribuibile a Mendeleieff: <u>Non</u> può esistere elemento al di <u>fuori</u> della periodicità).

5. *Il legame logica-matematica.* In che modo i chimici hanno cercato di individuare, mediante FDN universali, il tipo di matematica adatta alla nuova teoria? Il loro sforzo intellettuale è stato dello stesso tipo di quello di quello che ha portato Galilei a concepire dai soli dati sperimentali le formule matematiche adatte alla teoria meccanica [8], e di quello di S. Carnot che dalle sole definizioni di lavoro e calore ha concepito la formula matematica della efficienza delle macchine termiche [18].

Sotto questa luce, la evoluzione storica della chimica può essere interpretata con due tappe, ben note. La prima è quella di Lavoisier, Proust, Gay-Lussac, Dalton. In questa tappa la teoria espone soprattutto il problema se la materia sia costituita da atomi (in opposizione non solo alle teorie metafisiche e filosofiche del tempo, ma anche alle pre-concezioni scientifiche), o quella continuista di una mate-

ria primitiva unica (divisibile all'infinito, magari in infinitesimi, come suggeriva la allora trionfante analisi infinitesimale), o quella di un numero fisso di elementi (quattro). Lavoisier rifiuta di affrontare il problema in maniera metafisica [26, introduz., p. 4-6] e fonda la nuova teoria mediante le FDN. In particolare, usa una FDN per definire l'oggetto della teoria: l'elemento; questa FDN definitoria indica un collegamento tra il concetto e l'operatività delle reazioni chimiche. Queste sono state interpretate dallo stesso Lavoisier col principio della non distruzione della materia, che in Lavoisier è solo un principio di metodo (non una affermazione metafisica su tutti i processi della realtà). Questo principio metodologico indica una precisa matematica, quella delle pesate (cioè delle misure operative in chimica): semplici numeri razionali. Ma, la serie di numeri ottenuti è da interpolare, ma non per trovare una funzione continua finale, così come avviene in fisica; ma per avvicinare sempre più un numero razionale, limitato dalla sensibilità dello strumento. Allora qui c'è *la matematica dei numeri razionali*. Questa costituiva una «regressione» rispetto a quella delle teorie scientifiche di allora; non solo la fisica, che usava l'analisi infinitesimale, ma anche la cristallografia, che (con la legge di Bravais) si basava sì sui numeri razionali, ma legati da funzioni trigonometriche, che danno numeri trascendenti.

Però questo rapporto delle reazioni chimiche con la matematica è al livello solo operativo; che ha valore subordinato alla teoria (così come in meccanica quantistica i numeri razionali delle serie degli spettri atomici sono subordinati alla teoria più ampia, che viene sviluppata nello spazio di Hilbert); cioè la teoria chimica poteva svilupparsi con una matematica molto più avanzata; che doveva essere costruita sui suoi enti teorici: gli atomi. Questo passo può essere visto in Proust, Gay-Lussac e Dalton. Il risultato è noto (anche se non so precisarlo con opportune FDN di qualche autore, oltre quelle di Dalton citate in precedenza): *la matematica teorica della chimica è quella dei numeri interi*. La regressione della chimica rispetto al «progresso» della matematica della fisica teorica è qui ancora più forte.

La storia di questa coraggiosa matematizzazione è però sfortunata, perché ha dovuto affrontare un problema inedito: la composizione di enti discreti in enti discreti più complessi; cioè una astratta operazione di sintesi, pensata a livello teorico. Sappiamo che questo passo fu tormentoso; è stato compiuto in parte da Ampère, ma risolto bene solo da Avogadro. Che però fu ignorato per una intera generazione di chimici, nonostante essi dovessero lavorare dentro una grande confusione (per molti questa era giustificata dall'interdetto di Kant e di Comte: la chimica non può essere matematizzata).

Questo passaggio cruciale avvenne a Karlsruhe, quando la teoria chimica stabilì la sua stupefacente matematica discreta; ora essa poteva essere sviluppata ragionando anche nella sola matematica, con dei calcoli. È quanto fa Mendeleieff (sicuramente nel suo lungo viaggio di ritorno da Karlsruhe) teorizzando su una serie di elementi che dal tempo di Lavoisier si presentava come illimitata. La soluzione matematica è stata la ciclicità. Di solito questa caratteristica viene espressa con una

formula ricorsiva sui numeri interi. Invece qui una formula ricorsiva c'è nel sottofondo, come aiuto, ma non come risultato finale; c'è una configurazione solo geometrica, di tipo quasi ricorsivo. Quindi il risultato non è preciso per la matematica delle funzioni sui numeri interi, è giusto inferiore ad una formula matematica[7]. Forse per questo motivo l'aspetto matematico della tabella di Mendeleieff, quello che pure dà la potenza teorica alla teoria, è stato sottovaluto. E i fisici di allora non l'hanno considerata una teoria matematizzata (né una teoria ben organizzata).

Ma lo sforzo intellettuale dei chimici per trovare la loro inaspettata matematica rappresenta un formidabile sforzo intellettuale collettivo, avvenuto lungo un secolo. Esso ha anticipato quel processo tormentoso al quale poi, all'inizio del secolo XX, i fisici furono costretti quando scoprirono che tutta la realtà era discreta.

BIBLIOGRAFIA

[1] Avogadro A., 1811. Essay d'une manière de determiner les masses relatives des molecules élémentaires des corps…, Journal de physique, de chimie et d'historie naturelle, 73, 58-76.

[2] Boyle R., 1661. *The sceptical chymist*, London, prima pagina della parte I.

[3] Ciardi M., 1995. *Saggi e memorie della teoria atomica, (1811-1838)*, Giunti, Firenze, 39-65.

[4] Condillac E. Bonnot de, 1780, in: *Opere*, UTET, Torino. 1996, 157-165.

[5] Cusano N., 1640. *De Docta Ignorantia*, in: *Opere filosofiche*, UTET, Torino, 1973, 53-201.

[6] Dalton J., 1808. *A New System of Chemical Philosophy*, Manchester (cito dalla riedizione: London: Dawson, 1960).

[7] Dalton J., 1811. Nicholson Journal, 29, 143-151.

[8] De Luise V., Drago A., 1990. L'organizzazione della teoria e la logica in Galilei, in: *Atti XI Congr. Naz. Storia Fisica,* (F. Bevilacqua ed.), Trento, pp. 123-140; De Luise V., Drago A., 1995. Logica non classica nella fisica dei *Discorsi* di Galilei, in: *Atti XIII Congr. Naz. St. Fisica,* (A. Rossi ed.), Conte, Lecce, pp. 51-58.

[9] Drago A., 1987. La chimica classica come esempio di teoria organizzata su un problema centrale, in: *Atti II Congr. Naz. St. e Fond. della Chimica,* Acc. Naz. Sci. XL, (F. Calascibetta ed E. Torracca edd.), *V, 12,* Roma, 315-326.

[10] Drago A., 1992. La riqualificazione della termodinamica a partire dalla chimica, in: *Atti IV Conv. Storia e Fond. Chimica, Rend. Acc. Sci XL* (G. Michelon ed.), 110, 16, pt. II, 279-290.

[11] Drago A., 1993. L'analisi infinitesimale in Lazare Carnot: dalla metafisica alla fondazione operativa, in: *Per una storia dell'analisi,* Quad. PRISTEM n. 3, (L. Curcio, G. Medolla edd.) Milano, 75-83.

[12] Drago A., 1994. Una caratterizzazione della rivoluzione di Lavoisier, in: *Atti V Conv. Storia Fond. Chimica*, Atti Acc. Sci. XL, (G. B. Marino ed.), Roma, 127-138.

[13] Drago A., 2007?. The genius of infinitesimal analysis: Berkeley's critical analysis and its generalization by Lazare Carnot, *Berkeley and his philosophy*, (S. Parigi ed.) Gaeta, (in stampa).

[7] Si può sostenere che la matematizzazione della chimica ha un quarto passo, la definizione, mezzo secolo fa, del gruppo delle simmetrie della tabella di Mendeleieff.[17] Ma esso è avvenuto attraverso la matematica della meccanica quantistica, che di per sé è estranea alla chimica classica.

[14] Drago A., 2007. Nicholas of Cusa's logical way of arguing interpreted and re-constructed according to modern logic, com. a *First Workshop on Modern Logic and Medieval Logic* (S. Uckelman ed.) Bonn.
[15] Drago A., R. Oliva, 1999. Atomism and the reasoning by non-classical logic, HYLE, 5, 43-55.
[16] Drago A., A. Perno, 2004 e 2005. La teoria geometrica delle parallele impostata coerentemente su un problema (I), Periodico di Matematiche, ser. VIII, vol. 4, ott.-dic., 41-52; La teoria geometrica delle parallele impostata coerentemente su un problema (II), Periodico di Matematiche, ser. VIII, vol. 5, ott.-dic., 5-14.
[17] Drago A., A. Pirolo, 1994. Simmetrie in chimica: una rifondazione?, in: *Atti V Conv. Storia Fond. Chimica*, Atti Acc. Sci. XL, (G. B. Marino ed.), Roma, 210-221.
[18] Drago A., R. Pisano, 2000. Interpretazione e ricostruzione delle *Réflexions* di Sadi Carnot mediante la logica non classica, Giornale di Fisica, 41, 195-215.
[19] Drago A., A. Venezia, 2001. La «Mémoire» di Lavoisier e Laplace e le due ipotesi sulla natura del calore, in: *Atti IX Convegno di Storia e Fondamenti della Chimica*, Memorie Acc. dei XL, (P. Mirone ed.), 25, 117-131.
[20] Dumas M., 1967. *Lavoisier*, CEI, Roma-Milano, p. 19.
[21] Kekulé A., 1867. On the existence of Chemical Atoms, The Laboratory, 1, 303-307.
[22] Kolmogoroff A.N., 1932. Zur Deutung der Intuitionistische Logik, Matematische Zeitschrift, 35, 58-65 (tr. ingl. in: *From Brouwer to Hilbert. The Debate on the Foundations of Mathematics in the 1920s*, (P. Mancosu ed.), Oxford U.P., Oxford, 1998).
[23] Kuhn T.S., 1969. *La Struttura delle Rivoluzioni Scientifiche*, Einaudi, Torino.
[24] Kuhn T.S., 1978. *La teoria del corpo nero. Alle origini della meccanica quantistica*, Il Mulino.
[25] Lavoisier A-L., 1789. *Traité Elémentaire de Chemie*, Cuchet, Paris.
[26] Lavoisier A-L., 1797. *Méthode de nomenclature chimique*, Paris, 298.
[27] Lavoisier A.-L., 1862-1892. *Oeuvres de Lavoisier*, Paris, Tome I, p. 15.
[28] Lobacevsky I.N., 1840. *Geometrische Untersuchungen der Theorien der Parallellineen*, Finkl, Berlin, (tr. It. in: *La Teoria delle Parallele*, (S. Cicenia e A. Drago ed.), Danilo, Napoli, 1996, 43-96).
[29] Mendeleieff D., 1869. *Principles of Chemistry*, St. Petersbourg.
[30] Proust L., 1804. Lettre à M. d'Arcet, Journal de Physique, 59, 332.
[31] Thackray A. 1981. *Atomi e Forze*, Il Mulino, Bologna.
[32] Wallastone W.H., 1822. On the finite extent of the Athmosphere, Philosophical Transactions, 89-98.